

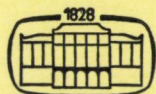
MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

58. KÖTET

1—4. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1979

MŰSZ. TUD.

MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG:

GESZTI P. OTTÓ, KÉZDI ÁRPÁD, PROHÁSZKA JÁNOS, VÁMOS TIBOR

SZERKESZTŐSÉG: 1383 BUDAPEST, MÜNNICH FERENC UTCA 7.

KIADÓHIVATAL: 1363 BUDAPEST, ALKOTMÁNY UTCA 21.

A *Műszaki Tudomány* változó terjedelmű füzetekben jelenik meg. Négy füzet alkot egy kötetet.

A kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudomány
1383 Budapest, Münnich Ferenc utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

A közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttatja a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért vagy továbbításáért nem vállal.

A *Műszaki Tudomány* előfizetési ára kötetenként 100 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó 1363 (Budapest, Alkotmány utca 21. Pénzforgalmi jelzőszám 215—11488). külföldi megrendelések a KULTURA Külkereskedelmi Vállalat 1389 (Budapest, Fő utca 32. Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10990) útján eszközölhetők.

MEGEMLÉKEZÉS HEVESI GYULA AKADÉMIKUSRÓL

HEVESI Gyula 1980. november 21-én lett volna 90 éves.

Sírját ebből az alkalomból a Mező Imre úti temetőben az MSZMP Központi Bizottsága, az MTA, egyéb társadalmi szervek képviselői, és a hozzátartozók megkoszorúzták.

Visszaemlékeztünk arra az emberre, akinek élete töretlenül szolgálta a haladást, az emberi és társadalmi jót, és akinek munkássága maradandó formában közöttünk maradt és tovább fejlődik.

HEVESI Gyula 1890-ban született Ungváron és 1912-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett vegyész-mérnöki oklevelet. Később az Egyesült Izzó laboratóriumában dolgozott. 1917-ben szervezte meg a világ első szocialista mérnök-szakszervezetét. A Párt egyik alapítótagja és 1919-ben a szocialista termelés népbiztosa. 1919-ben emigrációba kényszerült, majd különböző országokban töltött viszonylag rövid idő után a Szovjetunióba került, ahol kiemelkedő érdemeket szerzett mind közvetlen műszaki-kutatási tevékenységével, mind politikai vonatkozású, tudománypolitikai, dokumentációs, újtási-találmányügyi, ellenőrzési tevékenységével.

1948-ban érkezett haza Magyarországra, ahol a Találmányi Hivatal és az újtási mozgalom megszervezését bízták rá, majd röviddel ezután részt vett a Magyar Tudományos Akadémia átszervezésében.

Különösen jelentős volt HEVESI Gyula tevékenysége, mivel felismerve a műszaki munka jelentőségét, elsősorban az ő javaslatára láttak hozzá az MTA Műszaki Tudományok Osztálya megszervezéséhez, amelynek hosszú időn keresztül osztályelnöke volt.

A Műszaki Tudományok Osztálya széles körű tudományos hálózatot hozott létre, a bizottságok száma megközelítette a százat, amely jelentős segítséget nyújtott a kormánzatnak műszaki helyzetelemzések készítésében, tervek előkészítésében, célkitűzések kijelölésében.

Lényegében véve a Műszaki Tudományok Osztálya látta el a tudományos minősítéssel kapcsolatos tevékenységek túlnyomó részét, valamint az osztályhoz tartozó különböző kutatóhelyek ellenőrzését és irányítását is. Ebben az időben a földtudományok és a bányászat is az osztályhoz tartoztak.

Sokaknak volt lehetőségük HEVESI Gyula mellett dolgozni. Személyisége, gondolatai őszintesége, magatartása, rendkívül nagy hatást gyakorolt minden vele együtt dolgozóra.

Szerénysége, közvetlensége, bürokráciamentes humánus magatartása olyan példát állított elénk, amely valamennyiünk emlékéből kitörölhetetlen, amely kötelezettséget, mértéket ad munkánkhoz, magatartásunkhoz, és erőt ad a műszaki fejlesztés érdekében vívott harcunk mindennapjaihoz.

Geszti P. Ottó

MEGEMLÉKEZÉS CSANÁDI GYÖRGY AKADÉMIKUSRÓL

Hetvenöt évvel ezelőtt, 1905. július 28-án született CSANÁDI György akadémikus, a magyar közlekedés tudományos és gyakorlati fejlesztésének egyik kiemelkedő egyénisége.

Mérnöki oklevelének megszerzése, 1927. után a Műegyetem Vasútépítési Tanszékén dolgozott a közlekedéstudomány kiváló professzora, ZBLOVICH Kornél akadémikus mellett. Megszerezte a mérnök—közgazdász oklevelet is és 1929-ben a Magyar Államvasutak szolgálatába lépett. Végigjárta a vasútépítő mérnök szakmai útját, különböző építési, pályafenntartási, vasútüzemi beosztásokban működött.

A felszabadulás után a magyar vasúthálózat súlyos háborús kárainak helyreállításában, az ország vérkeringésének megindításában kiemelkedő feladatokat vállalt. Előbb a MÁV Pécsi Vasútigazgatóságának vezetője, majd a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium műszaki osztályának vezetője lett. Már az újjáépítés eredményekben gazdag, nehéz éveiben felismerte a szocialista vasútrendszer és a vasúti szakoktatás elméleti kutatások útján történő megalapozásának fontosságát. Fontos szerepet vállalt a MÁV szervezetének átalakításában, a szocialista vezetési elveknek megfelelő korszerűsítésében, majd 1949-ben a KPM Vasúti Főosztályának vezetőjévé, a MÁV vezérigazgatójává nevezték ki.

Új magas beosztásában tovább folytatta a vasút műszaki és gazdasági fejlesztésével összefüggő tudományos tevékenységét, s eredményei közül a pályafenntartás gépesítési és szervezési problémáira, a vontatási nemek arányos fejlesztési kérdéseire, a vasútüzem teljesítőképességére, valamint a tehervonatok optimális sebessége, a mozdonyok vonóerőkihasználása és a teherkocsik várakozási ideje közötti összefüggések meghatározására vonatkozó vizsgálatai érdemelnek külön is kiemelés.

CSANÁDI György életútjának további fontos állomása volt 1951-ben egyetemi tanári kinevezése. Műszaki egyetemi munkássága során továbbfejlesztette az Építőmérnöki Karon a közlekedésépítőmérnök-hallgatók számára a vasútüzemi ismeretek oktatását; jegyzete, illetve később megjelent *Vasúti üzem* című tankönyve e fontos vasúti szakterület tudományos megalapozott-

ságú, jól rendszerezett anyagának kiváló összefoglalása. Előadásokat tartott a gazdasági mérnöki és a szakmérnöki tanfolyamokon is. Oktató munkája során mindent elkövetett a vasúti szakterületnek az egyetemi hallgatósággal való megismertetésére és megszerettetésére, ráirányította figyelmüket e terület tudományos fejlesztési lehetőségeire. Megszervezte a Vasútépítési Tanszék vasútüzemi jellegű kutatómunkáját, szorgalmazta az egyetemen a MTA Közlekedéstudományi Munkaközösség felállítását, tevékenységének támogatását.

Ebben az időszakban kiemelten foglalkozott a vasútvillamosítási problémáival, 1955-ben védte meg „A járműpark gazdaságos üzemeltetésének egyes kérdései a vasúti áruszállításnál” című értekezését, amelynek alapján elnyerte a műszaki tudományok doktora fokozatot.

Több alkalommal tartott a Magyar Tudományos Akadémia felolvasó ülésén előadást, amelyeken kutatómunkájának eredményeit ismertette. „Az arányos fejlődés törvényeinek érvényesítése közlekedésünkben” c. előadása a magyar közlekedéspolitika elméleti kérdéseit foglalta össze, s alapját képezte a későbbi gyakorlati közlekedésszervezési intézkedéseknek.

Külön említést érdemel CSANÁDI György közlekedés- és tudományszervező tevékenysége. Megalakulása, 1951 óta elnöke volt a MTA Közlekedéstudományi Bizottságának, amely a közlekedési témájú kutatómunka szervező és ellenőrző bázisává vált. Hosszú ideig a MTA Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományi Szakcsoportjának elnöki tisztét is betöltötte. Kiemelkedő érdemeket szerzett a közlekedéstudomány hazai elismertetése, a közlekedéspolitika és a gyakorlati közlekedés közötti kapcsolatok helyes kialakítása, majd a magyar gazdasági viszonyoknak legjobban megfelelő közlekedéspolitikai koncepció kidolgozásában.

Elméletileg megalapozott, s kiváló szervezőkészséggel végzett hosszú szakmai munkásságának utolsó szakaszában, 1963 óta a magyar közlekedés és hírközlés legfelsőbb vezetőjeként működött, haláláig, több mint 10 éven át közlekedés és postaügyi miniszter volt. Ezirányú munkájának betetőzése az Országgyűlés 1968. évi határozata volt, amely törvényerőre emelte a közlekedési koncepcióban összefoglalt fejlesztési elgondolásokat.

A közlekedés szerteágazó területein végzett tudományos munkássága alapján választotta a Magyar Tudományos Akadémia 1958-ban levelező, majd 1970-ben rendes tagjává, s kapott 1956-ban Kossuth díjat, majd 1973-ban Állami díjat.

Tudományszervező munkásságának más területén a Közlekedéstudományi Egyesületnek évtizedeken át volt társelnöke, majd elnöke, s 1973-tól a MTESZ elnökeként is tevékenykedett.

Gazdag életútja során a közlekedés fejlesztése számos eredményének megvalósításában vett részt. Miniszteri tevékenységének időszakára esett többek között a vasút villamosításának felgyorsulása, a közlekedés motorizációja fellendülésének és az autópályahálózat építésének megindulása, a magyar

mélytengeri hajózás és repülés felfejlesztése, az első budapesti metróvonalak megnyitása, a Közlekedési Múzeum újra megnyitása.

CSANÁDI György akadémikus 1974-ben bekövetkezett halála nagy veszteséget jelentett mind a magyar közlekedés többszázvezres dolgozó seregének, mind a műszaki tudományos életnek. A közlekedés fejlesztése érdekében kifejtett odaadó munkásságának tudományos és gyakorlati eredményei időtállóan bizonyultak, s születésének 75. évfordulója jó alkalom az őszinte és tiszteletteljes megemlékezésre.

Geszti P. Ottó

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1976–1979. ÉVI TEVÉKENYSÉGE

BOGNÁR GÉZA

AZ MTA RENDES TAGJA
OSZTÁLYELNÖK

Az osztály állománya

Az osztálynak 15 rendes, 9 levelező, 11 tiszteleti és 7 tanácskozási jogú tagja van; az ide tartozó tudományágakban a tudományok doktora 154, kandidátus 795.

Az osztály 3 szakcsoport, 24 tudományos bizottság, 15 nemzeti bizottság, 14 munkabizottság és 17 albizottság, valamint 4 szerkesztőbizottság tevékenységét irányítja.

Az osztály tevékenysége

Osztályülések

	1976	1977	1978	1979
Ülések száma	6	5	5	5
Fontosabb témák száma	11	9	9	8
Résztvevők aránya %-ban	78	74	77	79

Az osztályülés több ízben foglalkozott a hazai energetikai és atom-energetikai gépgyártás kérdéseivel. Először a hazai gőzturbinagyártás és a magyar erőművi kazángyártás helyzetét és perspektíváit vitatta meg, rámutatva a rendelkezésre álló szellemi és kutatói bázis hasznosításának szükségességére. E tanulmányt valamennyi érdekelt párt- és kormányzati szerv vezetőjének megküldte. A válaszok megerősítették a felvetett problémák fontosságát, helyeselték az osztály kezdeményező állásfoglalásait. Ezek után a testület szükségesnek tartotta, hogy a gépipar, az energiaipar, a beruházó szektor és a külkereskedelem érdekeit összehangoló kormányzati előterjesztés készüljön. Erre vonatkozó állásfoglalását 32 legfelső vezetőnek megküldötte. A vélemények alapján az osztályülés előterjesztést készített a magyar erőművi gépgyártás tárgyában. Ebben megállapította, hogy a hazai erőművi energetikai gépgyártó ipar fenntartása és igénybevétele a hazai erőművek létesítésében országos érdek, ezért javasolta a Minisztertanácsnak, hogy vizsgálta felül az egész kérdéscsoportot és hozzon döntést.

Az osztályülés több alkalommal megvitatta a népgazdasági szempontból is fontos magyar vízgépgyártás helyzetét. A vita eredményeit tartalmazó tanulmányban felvetett problémákról a Kohó- és Gépipari Minisztérium részletes tájékoztatást adott, amelyben utalt az addig tett intézkedésekre.

Az osztály meghívott szakértőkkel együtt megtárgyalta és vita után elfogadta „A hazai energetika hosszú távú fejlesztése” c. előterjesztést. Szükségesnek tartotta e komplex népgazdasági kérdés széles körű interdiszciplináris megvitatását a III., a VII., a IX. és a X. osztály képviselőinek bevonásával. Az MTA alelnökének vezetésével megtartott értekezlet eredményeit az OMFB kidolgozás alatt álló prognózisában használják fel.

Az energetika súlyosbodó problémái miatt az osztály szükségesnek látta a népgazdaság és az energetika kölcsönhatásának feltárását. Kezdeményezésére a Villamosenergiaipari Kutatóintézetben Energetikai Kutatócsoportot szerveztek, ahol a legfontosabb összefüggések vizsgálatára alkalmas modell kidolgozását kezdték meg. A több intézményt érintő munka folyamatos irányítása érdekében az érdekelt vezető szakemberekből az osztály az OMFB-val közösen Tudományos Koordináló Bizottságot szervezett. — Az osztályülés megindította a technológiai kutatások helyzetét és jelentőségét elemző téma kidolgozását. Ennek során Technológiai Kutatási Osztályközi Bizottságot szervezett a II., a III., a VII. és a IX. osztály bevonásával. A kidolgozott elveket és feladatokat több alkalommal megvitatta. A sürgős intézkedést igénylő feladatok összegyűjtése folyik.

Meghívott szakértők bevonásával megvitatta a gabcsikovo—nagyvarosi vízlépcsőrendszer építésével kapcsolatos tudományos kérdéseket. Megállapításaiiban többek között ismét utalt arra, hogy a nagy múltú hazai vízgépgyártás szellemi kapacitásának kihasználása lehetővé tenné a szükséges energetikai gépek, berendezések hazai gyártását. Fontosnak ítélte a geotechnikai kérdések további kutatását, Budapest térségében nemzetközi kikötő létesítését. Indokoltnak tartotta annak megvizsgálását is, hogy a tervezett prédikálószéki szivattyús energiatározónak a Dunához csatlakozó objektumát — gazdasági, műszaki és célszerűségi okok miatt — meg lehet-e építeni a vízlépcsőrendszer keretében.

Egyik ülésén megtárgyalta a vízgazdálkodási műszaki kutatás helyzetét és feladatait. Megállapította, hogy a vízgazdálkodástudományi kutatások terén a hazai eredmények nemzetközi megbecsülést értek el. Megítélése szerint e kutatások egységes profilok szerinti szervezése, koordinációja megfelelően orientálhatja a legfontosabb feladat, a növekvő vízigények és a rendelkezésre álló vízkészletek közötti egyensúly biztosítására irányuló népgazdasági törekvéseket.

A Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoportja előterjesztésében megvitatta az építészettudományi kutatások szerepét és feladatait az építés iparosításában, és ezzel összefüggésben véleményezte a bázis-

adatokat tartalmazó „Az építőipar fejlődése 2000-ig” c. OMFB tanulmányt. A megvitatott előterjesztést ajánlásként az EVM-nek küldte meg.

Miskolcon a Nehézipari Műszaki Egyetemen tartott ülésén az osztály az egyetemen folyó mechanikai, mechanikai technológiai és kohászati kutatásokat tekintette át, és megállapította, hogy a kutatások eredményeinek többsége a népgazdasági célkitűzéseket szolgálva a gyakorlatban is alkalmazásra kerül, és segíti az ipari feladatok megoldását.

A résztvevők ünnepélyesen megemlékeztek GELEJI Sándor r. tag halálának tizedik évfordulójáról.

A Csepel Művekben tartott osztályülés a Csepel Művek, az MTA kutatóintézetei (SZTAKI, MÜFI, KFKI) és a Budapesti Műszaki Egyetem közös kutatási-fejlesztési eredményeit, azok gyakorlati hasznosítását és a Csepel Művekben folyó műszaki tudományos tevékenységet, az üzem gyártási technológiáit tekintette át, vitatta meg.

Az osztály megtárgyalta az akadémiai és egyetemi középtávú kutatási tervek és az 1976—1980. évi kutatási tervek osztály-felülvizsgálatának tapasztalatait. Többek között javasolta, hogy az OM mint felügyeleti szerv határozottan kívánja meg a testületi véleményekkel kapcsolatban a visszacsatoló tájékoztatást.

Az Akadémia elnökének felkérésére az osztály tagjai alkalmi bizottságok közreműködésével, az illetékes tárcák és az OMFB bevonásával kidolgozták a „Tudományos kutatások főirányai” c. gazdaságpolitikai részkoncepciónak „A gépipari technológiák fejlesztését célzó kutatás-fejlesztés” c., továbbá „Az energiatermelést, az energiával, valamint az energiahordozókkal való gazdálkodást és a racionális felhasználást szolgáló kutatások” c. fejezeteit.

Megvizsgálta a hazai törésmechanikai kutatások helyzetét, többek között javaslatot tett a BME-en a törésmechanikai szakmérnökképzés lehetőségeinek tanulmányozására. Megvitatta az MTA—OMFB Számítástechnika Alkalmazásai Bizottság tájékoztatóját az R—10-es számítógép irányítástechnikai és real-time alkalmazásával kapcsolatban. Megállapította, hogy az R—10-es számítógép irányítástechnikai és egyéb real-time célokra történő felhasználásának eddigi eredményei nincsenek még arányban a kérdés fontosságával és az iparfejlesztésre fordított erőfeszítésekkel. Ezért javasolta a KGM-nek, hogy vizsgálja meg, milyen támogatással lehetne olyan fővállalkozói rendszert kiépíteni, amelyben az érdekeltek megfelelően együttműködhetnek.

A Műszaki Fizikai Kutatóintézetben tartott ülésen részletesen tájékoztott az elektronikus eszközök kutatásának helyzetéről, és megállapította, hogy az intézetben magas színvonalú tudományos kutatómunka folyik. Az iparban hasznosítható eddigi és várható eredményekről tájékoztatja az illetékes főhatóságokat, hogy e tudományos eredményeket, kapacitásokat minél szélesebb körben használják fel. — Az MTA Műszaki Mechanikai Tanszéki Munkaközössége laboratóriumában tartott ülésén megállapította, hogy iskolái, progresszív

kutatási eredményei népgazdasági célokat is szolgálnak. Az osztályülés javasolja a munkaközösség akadémiai-egyetemi közös intézetté történő szervezését.

Az osztály az interdiszciplináris kapcsolatok szélesítése érdekében a társ-osztályokkal (III. és VII.) tudományos üléseket, alkalmi bizottságokat (III. oszt.) szervezett. Így a X. osztállyal közösen Geotermikus Energiahasznosítási Albizottságot hozott létre, amely a geotermikus energia hazai hasznosításának helyzete, lehetőségei és feltételei címmel tanulmányt dolgozott ki. A javaslatokat az Akadémia alelnöke az illetékes miniszterelnök-helyettesnek küldte meg, aki intézkedett, és további segítséget kért az Akadémiától. (A témáról részletesebben a X. osztály szól beszámolójában.)

Az osztály számos témát véleményezett — így: az ÁTB Bicskei Hőerőmű I. ütem kiépítésének beruházási javaslatát; a „Számítástechnikai Központi Fejlesztési Program végrehajtásának menetéről” szóló ÁTB előterjesztés tervezetét; az OT „Területfejlesztési Konceptióját”; az építőipari és építőanyagipar helyzetéről és továbbfejlesztésének feladatairól szóló minisztertanácsi előterjesztést; az atomenergiáról szóló tvr. minisztertanácsi előterjesztését, a tvr.-t és az annak végrehajtásáról szóló minisztertanácsi rendeletet; „A posta és távközlés helyzete és fejlesztési koncepciója” c. MT előterjesztést; stb.... — Továbbra is nagy súlyt helyezett az OMFB-vel való kapcsolat erősítésére. Az osztály több tagja rendszeresen részt vett az OMFB elnöke Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanácsának munkájában, az OMFB plénumban, szakmai vitáin. — Az osztály tagjai és illetékes szakértői 17 OKKFT programot, ill. tervtanulmányt véleményeztek, számos kiegészítést és módosítást ajánlva. — Állást foglalt számos OMFB koncepcióval kapcsolatban („A szerszámgépipar távlati fejlesztése”, „Távadatfeldolgozó rendszerek hazai elterjesztése”, „A termelési szerkezet fejlesztésének műszaki-gazdasági kritériumai” stb.) „A fokozott atomerőművi építés várható sugárbiológiai kockázata” c. OMFB tanulmány tárgyalása alkalmával tanácsolta, hogy ennek felhasználásával adjanak ki egy olyan közérthető kiadványt, amely alkalmas arra, hogy a nagyközönséget a különböző helyekről származó félrevezető érvelésekkel szemben valójában tájékoztassa.

Véleményezte a VI. ötéves tervkonceptió kidolgozásához készített „Műszaki fejlesztéspolitika” c. koncepciót. Ez alkalommal is utalt arra, hogy a műszaki fejlesztéspolitika célkitűzései csak akkor valósíthatók meg racionálisan, ha minél nagyobb mértékben használják fel a magyar kutatási kapacitás szellemi és anyagi erőit. — Közreműködött „A rendszerelemzés hazai alkalmazásának helyzetéről” címmel készített TPB előterjesztés kidolgozásában.

Az osztály véleményezte az ÉVM „Licencpolitika az építészetben” c. előterjesztést. Rámutatott arra, hogy a licencvásárlásokat a hazai kutatási eredményekkel, továbbfejlesztési lehetőségekkel szoros összefüggésben kell kialakítani.

Véleményezte a felsőoktatási intézmények oktatói és nevelői állásainak betöltéséről szóló OM rendelettervezetet, utalt arra, hogy ez tovább erősíti az egyetemek belterjes gazdálkodását, nem segíti a kiváló gyakorlati szakemberek egyetemi oktatásba való bevonását. — Több egyetemi és főiskolai oktatási és szervezeti egység rendjét érintő OM-tervezettel kapcsolatban tett az osztály érdemi javaslatokat.

Megvitatta az osztály könyv- és folyóiratkiadási tevékenységét és kialakította könyvkiadási koncepcióját. Hangsúlyozta, hogy az Akadémiai Kiadó gondozásában olyan könyvek és szakcikkék jelenjenek meg, amelyek az új hazai tudományos eredményeket közlik, és a hazai műszaki tudományok fejlődésének megalapozásához, gyakorlati felhasználásának előmozdításához járulhatnak hozzá. A rendelkezésre álló kereteket ezen túlmenően olyan monográfiákkal, tudományos helyzetképekkel, tanulmányokkal kell kitölteni, amelyek kutatást orientáló, ill. tudománytörténeti jelentőségűek.

Az osztály és a Természettudományi I. Főosztály kapcsolata közvetlen és eredményes volt. A főosztály vezetője az osztályülést rendszeresen tájékoztatja az időszerű kérdésekről, a szakigazgatás eseményeiről. — Az osztály évente közölte a TMB-vel az aspirantúra körébe bevonni javasolt témaköröket. Nagy súlyt helyezett a doktori fokozatok és az alkotások alapján benyújtott pályázatok reális véleményezésére. Szakcsoporti előkészítés után 51 doktori ügygel és 12 alkotás alapján történő tudományos fokozatszerzéssel kapcsolatosan közölte állásfoglalását. (Két doktori előterjesztéssel kapcsolatban elutasító álláspontot foglalt el.)

A szakcsoportok és a bizottságok működése

Az osztály úgy alakította ki tudományágazati bizottsági rendszerét és a bizottságok összetételét, hogy azokban a tudományos minősítettek, a kutatóhelyek, a tudományirányító főhatóságok, a nagyvállalatok felelős szakemberei is részt vegyenek. Egyes tudományterületeken rendszeressé vált a társbizottságok szakértőinek bevonása. Alkalmi bizottságok is alakultak a III., VI., IX. és X. osztályok képviselőinek bevonásával. Az osztály felügyelete alatt működik a Rendszerkutatási Komplex Bizottság, és az OMFB-vel közös 3 bizottság.

A bizottságok szoros kapcsolatot tartanak fenn a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetségének tagegyesületeivel. Több bizottság egyes feladatok megoldásában vállalt szerepet, több közös rendezvényt szerveztek (részletes adatokat az egyes beszámolók tartalmaznak).

Az osztály bizottságai folyamatosan dolgoztak ki az egyes tudományágakat érintő, időszerű tudományos helyzetképeket. A beszámolási időszakban 21 tudományos helyzetelemzést készítettek el. Az elkészült és megvitatott

A bizottsági, al- és munkabizottsági ülések

Megnevezés	1976			1977			1978			1979		
	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Részvevők aránya %-ban	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Részvevők aránya %-ban	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Részvevők aránya %-ban	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Részvevők aránya %-ban
Elektrotechnikai Tudományok Szakcsoportja												
Automatizálási és Számítás- technikai Bizottság	1	1	70	4	4	70	3	3	70	4	4	70
Elektrotechnikai Biz.	4	5	69	2	3	60	5	8	60	3	3	67
Közvetlen Energiaátal. Biz.	3	8	50	3	8	50	4	15	65	4	12	65
Rendszertechnikai Biz.	5	6	74	6	5	74	7	7	74	6	5	74
Távközlési rendszerek Biz.	2	3	75	3	5	66	3	6	66	2	5	75
Vákuumtechnikai és Elektro- nikai Eszközök Biz.	3	7	70	3	8	60	3	8	60	1	2	60
Vákuumtechnikai Albiz.	—	—	—	—	—	—	1	1	60	—	—	—
Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportja												
Áramlás és Hőtechnikai Gépek és Berendezések Bizottság	2	3	60	3	4	65	2	4	65	2	3	68
Áramlástechnikai Gépek és Berendezések Méretezése Albizottság	1	1	80	2	2	80	2	3	80	3	3	80
Belsőégésű Motorok Albiz.	2	2	80	3	2	80	3	3	80	3	3	80
Gőzfejlesztők és Tüzelő- berendezések Albiz.	—	—	—	1	2	60	1	2	6	2	2	60
Vegyipari Gépek és Szárító- berendezések Albizottság	1	3	80	2	4	80	3	3	80	2	6	80
Elméleti Technológiai Bizottság	2	6	80	2	4	80	3	3	80	2	6	80
Forgácsolási Munkabiz.	3	3	80	3	3	80	5	5	80	1	1	80
Képlékenyalakítási Munka- bizottság	3	3	84	3	2	84	1	2	84	1	1	84
Hegesztési Munkabiz.	2	2	55	2	1	55	1	2	55	1	1	55
Hőkezelési Munkabiz.	—	—	—	—	—	—	2	2	60	1	1	60
Fémszerkezetani Biz.	3	4	75	3	4	75	3	4	75	3	4	75
Acélok Zárványosságai Munka- bizottság	4	1	100	3	1	100	—	—	—	—	—	—
Fémteni Vizsgálatok Munka- bizottság	3	1	100	4	1	100	1	1	100	—	—	—
Gépszerkezetani Biz.	5	4	64	1	11	72	5	5	74	5	7	58
Hőenergetikai Bizottság	3	5	79	3	7	79	2	2	65	2	4	76
Metallurgiai Bizottság	4	6	80	4	9	7	2	5	90	2	4	90
Szál- és Rosttechnológiai Bizottság	2	4	80	2	3	80	2	3	80	2	3	80
Szál- és Rostfizikai Albizottság	1	7	60	2	10	60	1	10	60	1	9	60
Szál- és Rostkémiai Albizott- ság	1	6	80	2	8	80	2	8	80	2	6	80
Szál és Rost Oktatási és Továbbképzési alkalmi bizottság	—	—	—	1	2	70	6	4	70	1	1	70
Szál és Rost Gazdtud. alkalmi bizottság	1	1	70	1	1	70	1	2	70	1	1	70

Megnevezés	1976			1977			1978			1979		
	Úlések száma	Fontosabb témák száma	Résztvevők aránya %-ban	Úlések száma	Fontosabb témák száma	Résztvevők aránya %-ban	Úlések száma	Fontosabb témák száma	Résztvevők aránya %-ban	Úlések száma	Fontosabb témák száma	Résztvevők aránya %-ban
Szál és Rost Tudomány- és Ipartörténeti alkalmi bizottság	3	3	55	3	6	55	6	8	55	6	6	55
<i>Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoporija</i>												
Építészettörténeti és Elméleti Bizottság	4	5	77	4	4	73	3	3	64	5	6	73
Építészettudományi B.	2	3	80	6	8	75	6	9	80	6	8	80
Építész Gépészeti Albiz.	1	2	80	6	8	73	5	5	70	4	4	70
Közlekedéstudományi B.	5	3	75	5	4	75	5	5	75	5	6	75
Vasúti Közl. Albiz.	3	3	70	4	4	70	3	3	70	4	4	70
Közüti és Városi Közlekedési Albiz.	2	2	70	3	3	70	4	4	70	4	4	70
Hajózási Albiz.	2	2	70	3	2	70	3	3	70	3	3	70
Műszaki Mechanikai B.	4	2	80	4	2	80	4	4	80	3	3	80
Talaj- és Kőzetmechanikai Bizottság	4	3	55	5	4	55	3	8	60	2	3	60
Településtudományi B.	3	5	80	4	7	80	5	6	80	4	4	80
Vízgazdálkodástudományi Bizottság	4	2	55	3	3	60	3	6	55	3	3	45
Hidrológiai és Hidraulikai Albiz.	3	5	70	3	4	70	2	2	70	3	5	70
Vízépítési Albiz.	1	1	78	3	3	78	4	5	78	2	3	78
Vízellátási és Csatornázási Albiz.	3	4	70	2	2	70	2	5	70	4	4	70
Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Albiz.	4	6	80	4	6	80	5	7	80	3	3	80
Vízvédelmi Albiz.	3	3	50	2	3	50	1	2	50	2	2	50
Gabcsikovo — nagymarosi Munkabiz.	—	—	—	—	—	—	2	1	70	1	1	70
<i>Közös bizottságok</i>												
MTA—OAB Atomtechnikai Tudományos Bizottság	2	2	65	2	2	70						
MTA—OMFB Energetikai Tudományos Bizottság	1	2	87	2	2	65	2	3	98	1	1	65
MTA—OMFB Számítástechnika Alkalmazásai B.	2	4	70	2	4	70	2	3	75	2	2	70
Rendszerkutatói Komplex Bizottság	1	2	75	3	3	75	—	—	—	3	2	75
Természeti erőforrások komplex hasznosítása albiz.	—	—	—	3	2	90	2	2	90	1	1	30
Agráripari termelési rendszerek munkabizottság	—	—	—	1	2	50	2	4	50	2	4	50
A rendszerelmélet oktatását elemző munkabizottság	—	—	—	2	2	50	1	1	50	—	—	—
A hazai rendszerkutatókat elemző munkabizottság	—	—	—	2	2	50	—	—	—	1	1	50
A hierarchia problémáival foglalkozó munkabizottság	—	—	—	1	1	70	—	—	—	—	—	—

helyzetképek közül azokat, amelyek fontos problémákra mutattak rá, megküldték az illetékes főhatóságoknak, illetve a Műszaki Tudományban vagy más szaklapban publikálták.

Az Elektrotechnikai Tudományok Szakcsoportja

A szakcsoport folyamatosan figyelemmel kísérte a bizottságok munkáját megtárgyalta munkaterveit, javaslatokat tett egyes témák kiemelésére. Nagy súlyt helyezett a hazai energiakutatásokkal, technológiai fejlesztéssel kapcsolatos osztályelőterjesztések, javaslatok, vélemények kialakítására. Rendszeresen foglalkozott a magyar nemzeti bizottságok tevékenységével, javaslatot tett a WOGSC (World Organisation of General Systems and Cybernetics) további tagságának megszüntetésére.

Az Automatizálási és Számítástechnikai Bizottság megvitatta a „Műszaki-politikai prioritások. Automatizálás” c. OMFB tanulmányt, majd „Az automatizálási eszközök és az automatizálás területén várható műszaki fejlődés” c. elemző tanulmányt, amelyet az OMFB a bizottsággal együttműködve készített. A III. osztályhoz tartozó Számítástudományi Bizottsággal közösen létrehozott munkabizottság megvitatta „A számítástechnikai szakemberképzés hosszú távú programja” című, az OM által a Tudánypolitikai Bizottság számára készített előterjesztés tervezetét. A vita során felmerült javaslatokat és észrevételeket a minisztérium figyelembe vette. A bizottság állást foglalt az MTA SZTAKI tevékenységével kapcsolatban a teljesítményelektronika területén; értékelte a GAMMA Művekben folyó fejlesztést és gyártást, amely ipari irányítástechnikai berendezések előállítására irányul. — A VIDEOTON Fejlesztési Intézetben tartott ülésén meghallgatta a műszaki fejlesztés, valamint az alkalmazástechnika illetékes vezetőinek tájékoztatóját a számítástechnika gyártmányfejlesztési és forgalmazási terveiről. — A bizottság a helyszínen meghallgatta a BME Híradástechnikai Elektronika Intézetének, Műszer- és Méréstechnika Tanszékének és Folyamatszabályozási Tanszékének beszámolóját a mikroprocesszorok alkalmazásának tématerületén elért néhány kutatási és fejlesztési eredményről. — Áttekintette a Számítástechnikai Koordinációs Intézetben végzett fejlesztő munkát, amely az R-15 számítógép létrehozására irányult, valamint a VBKM Fejlesztési Intézet és a BME Folyamatszabályozási Tanszék fejlesztő tevékenységét, amely a moszkvai olimpia központi stadionja számítógépes eredményhirdető rendszerének megvalósítására irányul.

Az Elektrotechnikai Bizottság megvitatta a 750 kV-os villamosenergia átvitelrel kapcsolatos kutatásokat. A VEIKI-ben megvizsgálta a nagyfeszültségű kutatások helyzetét, meglátogatta a nagyfeszültségű laboratóriumot. Az időszak második felében a technológiai kérdések álltak munkásságának

középpontjában. A Ganz Villamossági Művek (GVM), az Ipari Műszergyár (Iklad) és az Egyesült Villamos Gépgyár (EVIG) villamosgépgyáraiban tartott három ülésen behatóan foglalkozott a villamos forgógépgyártás technológiai helyzetével és fejlesztési célkitűzéseivel. A bizottság megvitatta az erősáramú mérnökképzés helyzetét és a BME Villamosgépek Tanszék Ipari Kutatócsoportjának beszámolóját.

A *Közvetlen Energiaátalakítási Bizottság* javaslatot tett a kémiai áramforrások fejlesztési projektumának irányítására, melyet az érdekelt szervek elfogadtak. E rendszer bevezetése pozitív változásokat hozott az iparág területén. Véleményezte a KGM által készített „Kémiai áramforrások gyártásának fejlesztési koncepcióját”. A bizottság véleményét a KGM figyelembe vette. Több alkalommal foglalkozott a geotermikus energia és a napenergia hőhasznosításával. Javaslatot tett a napenergia-hasznosítási komplex projektum irányítására.

A bizottság kiszélesítette kapcsolatait az Akadémia más bizottságaival. Így a VII. osztály Elektrokémiai Munkabizottságával, a VI. és a X. osztály Geotermikus Energiahasznosítási Bizottságával és a VI. osztály Közlekedéstudományi Bizottságával.

A *Rendszertechnikai Bizottság* megvitatta a BME Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézetében a rendszertechnika alkalmazásaival kapcsolatos kutatásokat. A IX. osztály Statisztikai Bizottságával együttesen foglalkozott az ÉTI-ben és a KSH-ban folyó „Clusteranalízis” (algoritmizált csoportosítás) kutatásokkal a statisztikai osztályozás és a műszaki nomenklátúraszerkesztés aktuális kérdéseivel kapcsolatosan. 1979-ben a témakörben sikeres ankétot is rendezett. — A BME-n folyó kutatások tükrében megvitatta az AMT- (ill. a számítógéppel segített műszaki tervezési) rendszerek kifejlesztésének és bevezetésének egyes kérdéseit. Az OMFB a bizottság több tagjának bevonásával dolgozta ki „A rendszertechnika gyakorlati alkalmazásának tapasztalatai gépipari Vállalatoknál” c. tanulmányt. — A bizottság 1978. május 22–24. között rendezte meg az MTA Műszaki Tudományok Osztályának 2. termelés-irányítási ankétját.

A *Távközlési Rendszerek Bizottsága* az országos és tárcaszintű kutatási célprogramokhoz igazodva alakította ki tevékenységét. Így a KGM és a Magyar Híradástechnikai Egyesülés beszámolója alapján megvitatta a „K-8. Hírközlő rendszerek és berendezések kutatása-fejlesztése” elnevezésű célprogramot. — A KPM Postavezérigazgatóság előterjesztése alapján megtárgyalta a KPM-15 (Távbeszélőhálózat fejlesztése), a KPM-16 (Adatátviteli hálózat fejlesztése) és a KPM-17 (Vezetéknélküli hírközlés fejlesztése) célprogram helyzetét és tudományos kérdéseit. A kialakított véleményeknek kedvező visszhangjuk volt. A bizottság tagjai folyamatosan részt vettek a „Hírközlési berendezések kutatása—fejlesztése, különös tekintettel rendszerek kialakítására” című OKKFT program célkitűzésének kialakításában, a tanul-

mány kidolgozásában, véleményezésében. — Egyik ülését a Posta Kísérleti Intézetben tartotta és megtekintette az akusztikai, optikai, távbeszélő-technikai, mikrohullámú, postaforgalmi, vegyészeti és számítástechnikai kutatások újabb eredményeit. — Helyzetképeket készített az űrkutatásról, az optikai hírközlésről, a műsorszóró rádióadó-rendszerek fejlődésének fő irányairól, a tárolt programvezérlésű távbeszélő-központokról, a folyóirat- és könyvkiadásról.

A Vákuumtechnikai és Elektronikus Eszközök Bizottsága megvitatta a IUUSTA MNB által készített, „A vákuumfizikai, vákuumtechnika és vákuumtechnológiák hazai kutatásáról, fejlesztéséről és alkalmazásáról” című helyzet tanulmányt. Véleményezte az OMFB-nek „Feladatorientált nagy és szupernagy integráltságú mikroprocesszorok hazai lehetőségei” című, valamint „Az elektronikai passzív és elektromechanikai alkatrészek fejlődési tendenciái (1975–1990)” című tanulmányait. — A helyszínen áttekintette a BME Elektronikus Eszközök Tanszéken és az Elektronikai Technológia Tanszéken folyó tudományos munkát.

A Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportja

A szakcsoport nagy súlyt helyezett a technológiával, az energetikai gépgyártás problémáival és az energiagazdálkodással kapcsolatos kutatási főirányok kidolgozására. Ellátta az MTA és a Csepel Vas- és Fémművek között létrejött együttműködési megállapodásból a szakcsoportra háruló feladatokat. — Tovább szélesítette kapcsolatait az országos irányító szervekkel.

Az Áramlás- és Hőtechnikai Gépek és Berendezések Bizottságának kezdeményezésére az albizottságok közreműködésével kidolgozott helyzetképekre alapozva került sor a hazai gőzturbina-, vízgép- és kazángyártással kapcsolatos osztály-előterjesztés és osztályjavaslatok elkészítésére, és ezeknek a legfelsőbb állami szervekhez való felterjesztésére. A bizottság kidolgozta, illetve megvitatta a hazai olajégők gyártásáról és fejlesztéséről, a vegyipari léghűtőberendezésekről, az ipari porleválasztással és porméréssel kapcsolatos hazai kutatásokról, a ventilátorokkal kapcsolatos hazai áramlástechnikai kutatásokról, a magyarországi kazángyártásról és -fejlesztésről, a magyar gőzturbina-gyártásról és -kutatásokról, a magyarországi vízgépgyártásról és -fejlesztésről a magyarországi Diesel-motor kutatásról és az alkalmazási lehetőségekről, a légkondicionálás magyarországi helyzetéről és ipari háttéréről szóló helyzetképeket. Elemző véleményeket készített a „Tüzeléstechnikai és hőhasznosító berendezés- és gépgyártás fejlesztésének műszaki-gazdasági követelményei”, „Az olaj- és gáztüzelés hatékonyságának növelési lehetőségei”, „A központi fűtésberendezések szabályozási kérdései a gazdaságos hőfelhasználás érdekében” c. OMFB-tanulmányokról. A bizottság két alkalommal is foglalkozott az

ifjú mérnökök, azon belül is a tudományos utánpótlás problémáival. — Tevékenyen részt vett az MTA—GTE közös rendezésében megtartott VI. Áramlás-technikai Gépek Nemzetközi Konferencia rendezésében.

Az *Elméleti Technológiai Bizottság* munkabizottságai segítségével megvitatta a Gépipari Technológiai Intézet kutató—fejlesztő tevékenységét, a GTI, az IKARUS és a HIKI K-6 célprogram (A gépgyártástechnológia kutatása-fejlesztése) keretében végzett kutató—fejlesztő munkáiról készített beszámolót. A VI. ötéves terv gépgyártás-technológiai kutatással foglalkozó tervtanulmányának összeállításához javaslatokat, tanácsokat és kiegészítő észrevételeket dolgozott ki. Operatív bizottsága a munkabizottságokra támaszkodva alakította ki a „Tudományos kutatás fő irányai” c. gazdaságpolitikai részkonceptió tervezetén belül a „Gépipari technológiák fejlesztését élő kutatás—fejlesztés” c. fejezetet.

A *Fémszerkezetani Bizottság* az akadémiai, egyetemi és ipari kutatóhelyek tudományos tevékenységét tekintette át és vitatta meg, többek között a BME és az NME érdekelt tanszékein, a Dunai Vasműben, az UVATERV-ben, az Egyesült Izzólámpa és Villamossági RT telephelyén. A bizottság keretében működő munkabizottságok két helyzetképet dolgoztak ki az acélok zárványosságával, illetve a fémtani vizsgálatok helyzetével kapcsolatosan. — A bizottság részt vett a nemzetközi jelentőségű IX. és X. Kohászati Anyag vizsgáló Napok rendezésében, közreműködött az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület által szervezett „Fizikai fémtan és technológiai fejlesztés” elnevezésű szeminárium szervezésében.

A *Gépszerkezetani Bizottság* ülést rendezett többek között az Autóipari Kutatóintézetben, ill. a Szerszámgépipari Művek Fejlesztő Intézetében, továbbá áttekintette a Csepel Művek Szerszámgépgyára, a December 4. Drótygyár és a DIGÉP fejlesztő tevékenységét. — Állást foglalt az OMFB részére a „Belsőégésű motor dugattyúban mozgó kulisszás hajtóműve” c. témában. Megrendezte Miskolcon a „6. Mechanizmusok és hajtóművek” nemzetközi szakmai szemináriumot. Ellátja a tudományterületéhez tartozó IFTOMM (International Federation for the Theory of Machines and Mechanisms) magyar nemzeti bizottságának teendőit is.

A *Hőenergetikai Bizottság* az együttműködő villamosenergia-rendszer problémáit az Országos Villamos Teherelosztó új központjában tartott ülésén vitatta meg és a tervezés és kutatás több elvi kérdésében, továbbá konkrét, operatív kérdésekben foglalt állást. Megtárgyalta az energiatakarékossági program tervtanulmányát (OMFB), a nagy energetikai beruházások kérdéseit (OMFB). Foglalkozott az energiafelhasználás hatásával a környezetre, a hazai geotermikus energiák hasznosításával. Megvitatta „Az energiaracionalizálási tevékenység szakmai elveinek meghatározása” c. NIM—OMFB anyagot, a NIM erőműépítési programját. Foglalkozott a Dunai Hőerőmű fűtőolajtüze-

lésű blokkjainak csúcsrajáratásával kapcsolatos műszaki-szerkezeti problémákkal. A programban szerepelt a hőerőművi blokknagyságok műszaki és elméleti felső határának megállapítására vonatkozó külföldi vizsgálatok eredményének megvitatása is.

A *Metallurgiai Bizottság* tovább fejlesztette kapcsolatait a kutatóintézetekkel, egyetemmel, üzemekkel. Ennek során üléseit pl. az NME Vaskohászattani Tanszékén, a Dunai Vasműben, az Ózdi Kohászati Üzemekben, a Csepel Vas- és Fémművekben, a Mecseki Ércbányászati Vállalatnál, a Vasipari Kutatóintézetben, a KGM-ben és a NIM-ben tartotta, ahol megvitatta az ott folyó munkákat. Ajánlásokat dolgozott ki a KGM, ill. a NIM részére a hazai acélméltallurgiai bázis fejlesztésével, nyersvasgyártásunk teljesítményének, gazdaságosságának növelésével és a nyersvas minőség egyenletességének fokozásával, újonnan feltárt rézércvagyunk hasznosításával kapcsolatosan. Véleményezte „A számítógépek és a számítástechnika alkalmazása a kohóiparban” c. OMFB-tanulmányt és a KGM „A Dunai Vasmű koksizológiai be-ruházási javaslatát.” Kialakította állásfoglalását a méltallurgia területén történő hazai mérnök-képzés és posztgraduális képzés továbbfejlesztésére, valamint a kohómérnök-képzés hallgatói létszámproblémáinak enyhítésére vonatkozóan. — Jelentős része volt az 1978. évi II. Méltallurgiai Konferencia (NME Miskolc, 1978. május 23—25.) szervezésében.

A *Szál- és Rosttechnológiai Bizottság* albizottságai és alkalmi bizottságai közreműködésével megvitatta a számítástechnika alkalmazását a szál-, és rosttudomány területén; a filament fonalak gyártásának, felhasználásának és vizsgálatának problémáit; a szál- és rostos anyagok szerkezetének vizsgálatát; a statisztikus kísérlettervezési módszerek alkalmazását az ipari kutatásban; a felsőfokú képzés helyzetét és problémáit; a hazai és külföldi kutatás eredményei bevezetésének gazdasági feltételeit. A Könnyűipari Minisztérium megkeresésére megvitatta a minisztérium új ágazati célprogramjait, a tudománypolitikai irányelvek érvényesülését a tudományterületen. Több kutatóintézet és vállalat kutató tevékenységét tekintette át (pl. Műanyagipari Kutatóintézet, Bőr-, Műbőr- és Cipőipari Kutatóintézet, Magyar Viscosa Gyár, Textilipari Kutatóintézet, Papíripari Vállalat Kutatóintézete, Lenfonó és Szövőipari Vállalat).

A Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoportja

Szorgalmazta a népgazdaságot érintő tudományos kérdések megvitatását. Előkészítette a vízgazdálkodási műszaki kutatások helyzetéről az osztályülés részére összeállított anyagot, megvitatta az építészettudományi kutatások szerepéről, a gabcsikovo — nagymarosi vízlépcsőrendszeréről készített bizottsági anyagokat. Nagy súlyt helyezett a kutatási tevékenység folyamatos figyelemmel kísérésére, a főhatóságokkal való kapcsolat kiszélesítésére.

Az Építészettörténeti és Elméleti Bizottság az Országos Műemléki Felügyelőség kérésére kidolgozta a „Magyarország építészeti kőtörödékeinek helyzetfelmérése” és a „Műemléki kertek és parkok helyzete” c. témákat. Kezdeményezően foglalkozott a középkori és a legújabb kori építészettörténeti kutatások helyzetével, az építészettörténeti oktatással. A bizottság évenként az országnak más-más vidékét (városát) keresi fel, hogy a műemléki helyreállítások menetét a helyszínen tanulmányozza, s hogy meggyőződjék arról, hogy az élő, kortárs építészeti alkotások és a történeti emlékek megfelelő kapcsolata városépítészeti, környezetvédelmi, tájvédelmi és egyéb szempontokból megfelelő-e. 1976-ban a Bizottság Borsod-Abaúj-Zemplén megye néhány vidéki műemlékét, 1977-ben Szeged belvárosi építkezéseit és Csongrád megye néhány műemlékét, 1979-ben pedig Zalaegerszeg város és Zala megye műemlékeit tanulmányozta.

Az Építéstudományi Bizottság felmérte az építéstudomány helyzetét és feladatait. Közreműködött és jelenleg is részt vesz a lakásprogram kidolgozásában. — Ankétokon vitatta meg az iparosított építés és az energiatakarékosság kérdéseit. Foglalkozott a rendszerelvű építéssel, az építésügy, építőanyagipar fejlesztő—kutató tevékenységével, a műszaki tervezés, a műszaki fejlesztés helyzetének és feladatainak értékelésével, az építőipar kutató tevékenységének vizsgálatával. Vállalatoknál, kutató- és tervezőintézetekben tartott üléseket (ÉTI, IPARTERV, TTI (tervező intézetek), GYÁÉV (kivitelező vállalat)), amelyeken konkrét vállalati kutatási, műszaki fejlesztési kérdéseket vitattak meg. Megvizsgálta és az ÉVM-nek, illetve az OM-nek, jelentésben rögzítette a szakmunkás-, a középkáder-, és az építésmérnök-, illetve üzemmérnök-képzés jelenlegi helyzetét és jövőbeli feladatait. A jelentést mindkét főhatóság felhasználja további képzési tervében.

A Közlekedéstudományi Bizottság elsősorban a komplex közlekedéstudományok előrehaladását kísérte figyelemmel, meghatározta továbbfejlesztésének irányait. A KPM felkérésére foglalkozott többek között a közlekedéstudományok helyzetének elemzésével és meghatározta a továbbfejlesztés irányvonalát; megvizsgálta a közlekedés szerepét az energiagazdálkodásban; értékelte az üzemszervezési kutatások helyzetét és távlatait a MÁV-nál; figyelemmel kísérte a KPM 13. (A közlekedés termelékenységének növelése) célprogram megvalósítását; véleményezte a közúti közlekedés-biztonsági kutatásokat, és javaslatot tett azok további fő irányaira; tájékozódott a IV. ötéves terv előkészítésével kapcsolatos közlekedéstudományi kutatások felhasználásáról. Véleményt nyilvánított az egyes közlekedési alágazati kutatások tervezési módszeréről, ütemezéséről, az adaptációs kutatások fontosságáról, a kutatási eredmények hasznosításáról stb. A bizottság albizottságai (vasúti, közúti és városi közlekedési, hajózási) megvitatták és koordinálták a hatásterületükhöz tartozó ágazati kutatóintézetek és egyetemi, illetve főiskolai tanszékek éves kutatási terveit, és beszámoltatták azokat a végzett munkáról.

Több alkalommal foglalkozott a bizottság a minősítések helyzetével. Megállapításairól, a továbbfejlesztéssel kapcsolatos elképzeléseiről tájékoztatta a KPM vezetőit, és a káderutánpótlás javítása érdekében több javaslatot tett. Eredményesen működött együtt az Energetikai és a Településtudományi Bizottsággal, amellyel közös ankétot is rendezett. A bizottság a Közlekedési Múzeum Tudományos Tanácsaként irányította és koordinálta a múzeum sajátos helyzetéből adódó teendőket.

A *Műszaki Mechanikai Bizottság* megvitatta: a héjelmélet gépészeti alkalmazásának hazai helyzetét; a végeelem-módszer alkalmazását a saját-frekvenciák behatárolására; a mechanika variációs elvéhez kapcsolódó hazai elméleti és mechanikai kutatásokat, a katasztrófaelméleteket a rugalmas rendszerek stabilitás vizsgálatában; az „Érintkezési feladatok tárgyalása variációs elvekkel” cím alatt összefoglalható hazai kutatás helyzetét; a „Vékony falú térbeli rúdszerkezetek mechanikája” c. összefoglalást. Az ÉVM kezdeményezésére vitatta meg a bizottság a periodikusan terhelt kör- és körgyűrű alakú lemezek számításával kapcsolatos nagyszabású munkát, amelynek eredményei különösen a mérnöki gyakorlatban fontosak. A helyszínen áttekintette az Építéstudományi Intézet kutatómunkáját. Helyzetképet dolgoztatott ki a „Vékonyfalú és térbeli rúdszerkezetek mechanikájával” címmel. A bizottság a IUTAM magyar nemzeti bizottságával közreműködött a III. Magyar Mechanikai Konferencia előkészítésében és megrendezésében.

A *Talaj- és Kőzetmechanikai Bizottság* részt vett az OMFB „A geotechnikai szakág országos fejlesztésének összehangolása” c. témájának kidolgozásában és megtárgyalásában. Megismerkedett az Alapozási Célprogrambizottság és a Városi Mélyépítési Célprogrambizottság munkájával, s erre vonatkozóan számos javaslatot tett. Tanulmányozta a Nemzeti Atlasz tematikatervezetét és megvitatta az MTA Műszaki Mechanikai Tanszéki Munkaközösségének beszámolóját. A bizottság tagjai egy-egy ülésen megismerkedtek az Építéstudományi Intézet, a Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat, valamint a BME Geotechnikai Tanszékének kutatási munkásságával. A fentiekhez számos javaslatot és észrevételt fűztek. A bizottság két vitaülést tartott. Az egyik a rugalmas csövek és a talaj kölcsönhatásával, a másik a metróépítésnek a talajvízszint változására gyakorolt hatásával foglalkozott. Ennek eredményéről az osztály útján a főváros illetékes hatóságát tájékoztatta és javaslatokat tett. A bizottság tagjainak közreműködésével került sor 1976 októberében az V. Budapesti Talajmechanikai és Alapozási Konferencia megrendezésére, amelynek mintegy 80 külföldi és 250 hazai résztvevője volt. A konferencia Proceedingsse 50 tanulmányt közöl. A résztvevők egy csoportja szimpóziumot tartott a geotechnikai oktatás kérdéséről is.

A *Településtudományi Bizottság* jó kapcsolatokat alakított ki az építésügyi és városfejlesztési kormányzat illetékes szerveivel, illetve képviselőivel. Javaslatokat dolgozott ki a 15 éves lakásépítési tervvel, a magyar városok

lakóterületi rekonstrukciójának helyzetével és problémáival kapcsolatosan, melyeket az osztály eljuttatott az ÉVM-hez, valamint az OT-hez és az OMFB-hez is. Az EVM kérésére megvitatta a települések fejlődésének irányítását szolgáló hosszú távú kutatási programot, melyet a későbbiekben a Társadalomtudományi Koordinációs Bizottság tárgyal, és a TPB ajánlása alapján kormány szintű kiemelésre került. Megvitatta a BUVÁTI tudományos kutatási koncepcióját; foglalkozott a VÁTI-ban folyó tudományos kutatások, valamint az urbanisztikai szakemberképzés helyzetével, fejlesztésének feladataival és problémáival. Jelentős kezdeményezés volt a falurendezés-falutervezés problémáinak közel tíz akadémiai bizottsággal történt megtárgyalása, a téma kiemelése a vonatkozó kutatási tervekben. Napirenden szerepeltek az üdüléshelyek céljait szolgáló területek fejlesztésének és rendezésének problémái, az országos környezetvédelmi kutatások településtudománnyal összefüggő feladatai. Több éves előkészítés után 1977 őszén, a Magyar Urbanisztikai Társasággal közösen, külföldi tudósok részvételével szervezett tudományos ülés összegezte a nagyvárosi agglomerációk fejlesztésének és rendezésének tapasztalatait és megfogalmazta a tervszerűbb fejlesztéssel, rendezéssel összefüggő településtudományi feladatokat.

A *Vízgazdálkodástudományi Bizottság* albizottságai közreműködésével számos népgazdasági jelentőségű témát dolgozott ki és vitatott meg. Kiemelkedő a gabcsikovo-nagymarosi vízlépcsőrendszerrel kapcsolatos kutatások véleményezése; és a vízlépcső hatásainak felmérése, a víz és csatornaművek üzemeltetése szeminárium anyaga, a kiskörei tározó vízminőség-fejlődésének értékelése. Véleményt készített a gépi számítástechnika alkalmazásáról, a vízépítési minőségvédelemről, az öntözés középhosszú és távlati kutatási tervéről, a vízminőség-szabályozási kutatásokról. Működésének jelentős visszhangja volt, a javaslatokat figyelembe vették, illetve egy részét még tanulmányozzák. A bizottság többek között kidolgozta, ill. kidolgoztatta a szivárgással kapcsolatos tudományos kutatások, a hidrológiai kutatások, az árvízvédelemhez kapcsolódó vízépítési kutatások, az öntözővízigény véletlen jellegű alakulásának kutatási helyzetét. Helyzetkép készült még a következő kutatásokról: a rendszertechnika és a számítástechnika alkalmazása a mezőgazdasági vízgazdálkodási műszaki-tudományos és fejlesztési tevékenységben; a lebegő anyaghoz kötődő mikroszennyezők transzportja és eltávolításának lehetőségei; a szabad felszínű vízmozgások hidraulikája; a hidrológiai előrejelzés helyzete; a vízkezelés és szennyvíztisztítás egységesítése; a talajvíz növénytermesztési, talajtani és hidrológiai kérdései.

Az *MTA-OAB Atomtechnikai Tudományos Bizottság* megvizsgálta a nátriummal, illetve a kémiaiilag disszociáló gázzal hűtött energetikai gyorsreaktorok fejlesztésének helyzetét és ajánlotta az OAB elnökségének az érintett hazai intézmények együttműködési törekvéseinek támogatását. Az elnökség ilyen értelemben foglalt állást, és tett javaslatot az illetékes kormány-

szerveknek. A bizottság vizsgálatainak eredményeként alakult ki az a szovjet – magyar ötéves műszaki-tudományos együttműködési program, amelynek keretében számos magyar intézmény vesz részt egy szovjet területen épülő ipari-demonstrációs, gyorsneutronokkal működő atomreaktorral szerelt atomerőmű fejlesztésében, illetve építésében. A tevékenység eredményeként a távolabbi jövőben jelentős ipari kooperációs lehetőséghez juthatunk. A további működés feltételei az OAB átszervezése és az annak keretében megalakított Műszaki Tudományos Tanács következtében megváltoztak, ezért a bizottságot az osztály az OMFB-vel egyetértésben megszüntette.

Az MTA–OMFB Energetikai Tudományos Bizottság a következő témákat vitatta meg és véleményezte: az energetika hosszú távú fejlődése 1975-től 2000-ig; az energiaigények várható alakulásának népgazdasági összefüggései; a hazai atomerőmű építési programra történő felkészülés központi feladatai; az energetikával kapcsolatos kutatási főirányok súlyponti feladatai. Az MTA elnökének felkérésére 1979 folyamán kidolgozta „A tudományos kutatás főirányai” c. gazdaságpolitikai részkoncepciónak „Az energiatermelést az energiával, valamint az energiahordozókkal való gazdálkodást és racionális felhasználást szolgáló kutatások” tárgyú fejezetét.

Az MTA–OMFB Számítástechnika Alkalmazása Tudományos Bizottság célprogram kialakításával, majd pedig menet közben, adott értékelésekkel nyújtott segítséget az eredmények eléréséhez. A bizottság véleményezte az OKKFT-be benyújtott „17. Számítástechnikai alkalmazási rendszerek kutatása—fejlesztése” c. programjavaslatokat. A Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanács által elfogadott programjavaslatok kidolgozásában a bizottság több tagja is részt vett.

A Rendszerkutatói Komplex Bizottság 1976. december 2-án alakult a VI., a VIII. és a IX. osztály képviselőiből. A bizottság az általa szervezett és irányított al- és munkabizottságokban fejtette ki tevékenységét. Így a Természeti erőforrások komplex hasznosítása albizottság kidolgozta a hazai ásványvagyon hatékony hasznosításának koncepcióját. Ezt a NIM felhasználta az ásványi nyersanyagok hasznosítására vonatkozó előterjesztésében. Az Agrár-ipari termelési rendszerek munkabizottság a budapesti, a gödöllői, majd a debreceni Agrártudományi Egyetemen tartott ülésein arra törekedett, hogy elősegítse a termelési rendszerek rendszerelméleti alapjainak tisztázását, a mezőgazdaságban a rendszerkutatás helyzetének feltárását, illetve a rendszeralkalmazás és rendszerkutatás elterjesztését. A hazai rendszerkutatásokat elemző munkabizottság kidolgozta a rendszerkutatások helyzetéről készült összeállítást. A komplex bizottság megvitatta és előterjesztette a „Jelentés a rendszerelemzés alkalmazásának hazai helyzetéről” c. TPB anyagot.

Az Elektrotechnikai Tudományok Szakcsoportja

A Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE) közreműködött a NIM, az ÉVM, az OM és az EüM, valamint a Szabványügyi Hivatal világítással kapcsolatos szabványalkotó tevékenységében, több OMFB tanulmány és koncepciótervezet kidolgozásában. — A CIE több munkabizottsági ülést tartott Budapesten: 1977-ben a TC—2.2 „Érzékelők és fénymérési műszerek” bizottság ülést; 1978-ban a TC—4.1. „Belsőtéri világítás” bizottság ülést; 1979-ben a TC—4.4 „Sportvilágítás bizottság ülést. — A bizottsági tagok a szakterületen folyó nemzetközi munkáról és előrehaladásról rendszeresen tájékoztatják a hazai szakembereket, s rajtuk keresztül fényforrásiparunkat.

A Nagy kiterjedésű, nagyfeszültségű Villamoshálózatok Nemzetközi Konferenciája (CIGRE) tevékenységének túlnyomó része az ún. Study Committee-kben folyik. Ezekben Magyarországot 5 fő képviseli. — A CIGRE kétévenkénti kongresszusára a nemzeti bizottság két-két tanulmányt küldött ki.

A Nemzetközi Automatika Szövetség (IFAC) magyar nemzeti bizottsága készítette elő a VII. Világkongresszusra (1978. Helsinki), beérkezett előadásokat, a résztvevő 27 fős delegációt. Szekcióüléseken négy magyar előadás hangzott el, melyek komoly sikert arattak. — A világkongresszus elfogadta az 1980-ra hazánkban tervezett „A gépgyártás-technológia információs és irányítási problémái” (GTIIP) című szimpózium tematikáját és jóváhagyta annak megrendezését. A hazai IFAC-tevékenység nagy sikere, hogy az 1984. évi világkongresszust hazánkban rendezik.

A Nemzetközi Vákuumtechnikai Unió (IUVSTA) magyar nemzeti bizottsága felmérést készített a vákuumtechnika hazai helyzetéről. Kezdeményezte, koordinálta és támogatta a hazánkban rendezett idegen nyelvű nemzetközi és a magyar nyelvű szakmai konferenciákat, iskolákat. 1979 márciusában megrendezte az unió végrehajtó tanács ülést, 1979 októberében közreműködött az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és az Osztrák Vákuumfizikai Társulat közös konferenciájának rendezésében Győrött.

A Nemzetközi Rádióunió Tudományos (URSI) magyar nemzeti bizottságának közreműködésével került sor 1978-ban a Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumának Budapesten való megrendezésére, kb. 200 külföldi és 200 magyar szakember részvételével. A bizottság részt vett a mikrohullámú teljesítménymérővilágítás hitelesítésében. — A hazai tudományos tevékenység elismerését jelenti az URSI által szerkesztett Review of Radio Science c. kiadvány hivatkozása a magyar szakemberek munkájára, többek között a magnetoszférikus hullámterjedés, a rádiócsillagászat, az információelmélet, a hálózatelmélet területén. A szocialista országok URSI nemzeti bizottságainak koordinációját a magyar bizottság látja el.

Az Általános rendszer- és Kibernetikai Világszervezet (WOGSC) magyar nemzeti bizottsága az 1978 augusztusi amsterdami kongresszusra 5 magyar

előadást szervezett. Minthogy a szervezet munkájáról a legutóbbi időben kedvezőtlen nemzetközi vélemény alakult ki, 1979 végével tagságunkat megszüntettük.

A Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportja

A Gépek és Mechanizmusok Elméletének Nemzetközi Szövetsége (IFTOMM) magyar nemzeti bizottsága 1977-ben Miskolcon megrendezte a „Gépek és mechanizmusok elmélete” tárgy körű nemzetközi tudományos ülésszakot, amely nagy sikerrel mutatta be a hazai tudományos eredményeket. — A szövetség A) jelű állandó bizottsága 1980-ban hazánkban tartja kétévenkénti rendes ülését, és a 80-as évek elején itt kerül sor a szövetség világkongresszusának megrendezésére is.

A Nemzetközi Törési Kongresszus (ICF) magyar nemzeti bizottsága egyrészt a gépészmérnöki és építőmérnöki nappali képzésben és a tudományos diákkörökben folyó törésmechanikai oktatáshoz adott ajánlásokat, másrészt részletesen kidolgozta egy törésmechanikai szakmérnöki tanfolyam programját és tantárgyainak tematikáját. — A bizottság szorosan együttműködött a Gépipari Tudományos Egyesülettel az 1979. évi Törésmechanikai Anket előkészítésében és lebonyolításában. A Lehigh University-vel közösen folyik az 1980. őszén Budapesten sorra kerülő nemzetközi törésmechanikai szimpózium előkészítése, amely a törési kritérium problémakörét taglalja, és így lényegében a tudományterületen elért magyar eredmények nemzetközi elismerését szolgálja.

Az Energia Világkonferencia (WEC) magyar nemzeti bizottságának tagjai a Világgazdasági Kutatóintézet részére WEC-anyagok alapján évenként energetikai háttér tanulmányokat dolgoznak ki. A bizottság részt vett az 1977-i isztambuli konferencia előkészítésében. A világkonferenciákról készült beszámolókat a bizottság megküldi a kormányzati szerveknek.

A Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoportja

A Nemzetközi Hidraulikai Kutatásügyi Szövetség (IAHR) magyar nemzeti bizottsága közvetlen javaslatokkal, a tisztségviselők tevékenységével járul hozzá a szövetség munkájához, a kongresszusok, szimpóziumok tematikájának megformálásához. Így a bizottság tagjainak közreműködésével készítette elő a szövetség III. divíziója 1. szekciójának szimpóziumát „Áramlás-tani gépek” címmel (Budapest, 1979. szept. 17–22.). — A „Jégproblémák” szekció a VITUKI támogatásával közzétett egy 14 nyelvű jégterminológiai szótárt. A szerkesztő bizottság elnöke a szekció magyar elnöke volt. — A szö-

vetség legfelső irányító testületeiben több hazai szakember tölt be vezető funkciót.

A Nemzetközi Öntözési és Vízrendezési Szövetség (ICID) magyar nemzeti bizottsága előkészítette a szövetség 1977. évi nemzetközi végrehajtó tanácsának ülésén való magyar részvételt, a budapesti Nemzetközi Evapotranszspirációs Kerekasztal Konferenciát, a 10. Öntözési és Vízrendezési Világkongresszuson és a szövetség nemzetközi végrehajtó tanácsának 1979-es rabati ülésén való magyar részvételt. — A bizottság közreműködésével kerültek kiadásra a világkongresszus, továbbá a konferenciák tanulmányai és vitái; az árvédekezés világhelyzetéről szóló beszámoló (1978); az árvédekezés kézikönyve (1980); több nyelvű öntözési és vízrendezési szótár (1980). — A hazai tudományos élet elismeréseként számos magyar szakember fejt ki tevékenységet a szövetség különböző bizottságaiban.

A Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesület (ISSMFE) magyar nemzeti bizottsága az egyesület albizottságai által kidolgozott összefoglaló jelentéseket és ajánlásokat ismertetett meg a hazai szakemberekkel, és közreműködött ezek hazai elterjesztésében. Megrendezte a nemzetközileg is számon tartott 5. Budapesti Talajmechanikai Konferenciát 1976 októberében.

Az Elméleti és Alkalmazott Mechanikai Nemzetközi Unió (IUTAM) magyar nemzeti bizottsága Miskolcon rendezte meg a III. Magyar Mechanikai Konferenciát, amely alkalmat adott az 1980. évi IUTAM Nemzetközi Mechanikai Kongresszusra benyújtható dolgozatok kiválasztására is. 1976 óta három Budapesten tartott EUROMECH nemzetközi kollokvium rendezésében vett részt. Elősegítette a GAMM mechanikai egyesülettel való együttműködés fejlődését.

A Nemzetközi Híd- és Magasépítési Egyesület (IABSE) magyar nemzeti bizottsága előkészítette az 1976-os tokiói kongresszuson való magyar részvételt. Megszervezte az 1977-ben Budapesten rendezett regionális kollokviumot. Kiadta a 17 országból mintegy 150 résztvevővel lebonyolított rendezvény előkészítő kötetét és zárókötetét. — Az 1978-ban Moszkvában rendezett szimpóziumra két magyar dolgozatot nyújtottak be.

Az Alkalmazott Matematikai és Mechanikai Egyesület (GAMM) munkájában való magyar részvétel szervezetté tételére 1979 tavaszán alakult meg az MTA III. és VI. osztálya összefogásával a GAMM magyar nemzeti bizottsága. — A GAMM legfontosabb tevékenysége, hogy különböző európai országokban évenként nemzetközi konferenciát szervez, amelyen általában 500–700 kutató vesz részt, és mintegy 200 előadás hangzik el. A magyar tagok munkájának elismerését jelenti az a tény, hogy a GAMM 1982. évi konferenciáját Budapesten kívánja tartani.

Nemzetközi kapcsolatok

A Műszaki Tudományok Osztálya jelenleg 14 nemzetközi tudományos szervezettel tart fenn szoros és szervezett kapcsolatot a szervezetek magyar nemzeti bizottságai révén. Mindegyik szervezetben valamilyen tisztséget magyar képviselő lát el. Ez módot ad arra, hogy folyamatosan tájékozódjanak a művelt tudományterület nemzetközi fejlődéséről, a hasznosítás lehetőségeiről. — A magyar nemzeti bizottságok (MNB) közvetlen felügyelete mellett működnek.

Rendezvények

1976.

EUROMECH 83 Kollokvium „Dinamikusan terhelt képlékeny szerkezetek és kontinuumok” (Mátrafüred, november 1—3.)

V. Budapesti Talajmechanikai és Alapozási Konferencia (Budapest, október)

„Az iparosított építés építészeti problémái” ankét (Budapest, május 20—21.)

Az MTA 1976. évi közgyűlés keretében tudományos ülősszak (Budapest, május 4.)

1977.

EUROMECH-kollokvium (Budapest, április)

Nemzetközi Evapotranszspirációs Kerekasztal-konferencia (ICID m.n.b. rendezésében, Budapest, május 26—28.)

„Mechanizmusok és gépek elmélete” nemzetközi tudományos ülősszak (Budapest, szeptember 6—8.)

„Acélszerkezetek stabilitási kérdései” (IVBH) regionális konferencia (Budapest, szeptember 11—12.)

„A vasúti sebesség emelésének pályafejlesztési kérdései” konferencia (Budapest, október 18—20.)

„Megbízhatóság az elektronikában” konferencia (Budapest, október 3—7.)

IX. Kohászati Anyagvizsgáló Napok (OMBKE-val együtt; Balatonaliga, május 2—5.)

A szocialista országok URSI nemzeti bizottságainak konzultációs megbeszélése (Budapest, május 12—13.)

Az MTA 1977. évi közgyűlése keretében együttes tudományos ülés a III. osztállyal: „Az atomenergia hazai hasznosításának tudományos-műszaki kérdései” témakörben (Budapest, május 5. és június 2. 7 előadás)

„A városi agglomerációk problémái” tudományos tanácskozás (Budapest, október 18—19.)

1978.

Az MTA 1978. évi közgyűlése keretében tudományos ülészak a III. osztállyal közösen „Technológia” témakörben (Budapest, május 12. 3 előadás).

2. Termelésirányítási Ankét (Budapest, május 22—24.)

II. Metallurgiai Konferencia (Miskolc, május 23—25.)

VI. Mikrohullámú Összeköttetések Konferenciája (Budapest, augusztus 29.—szeptember 1.)

6. „Mechanizmusok és hajtóművek” szakmai szeminárium (Miskolc, szeptember 5—7.)

1979.

EUROMECH 112 Kollokvium: „Kontinuus szerkezetek saját frekvenciájának behatárolása” (Mátrafüred, február 21—23.)

International Union for Vacuum Science, Technic and Application (IUVSTA) végrehajtó bizottságának 36. ülése (Budapest, március 20—22.)

„Energiagazdálkodás az építészetben” ankét (Budapest, április 19—20.)

Az MTA 1979. évi közgyűlése keretében tudományos ülészak „A geotechnika szerepe és feladatai az ország gazdaságában” témakörben (Budapest, május 8. 4 előadás); együttes tudományos ülés a III. és a VII. osztállyal: „Anyagtudomány és gyakorlat” témakörben (Budapest, május 7. 11 előadás)

„Víz-újrahasználat a vízellátásban” nemzetközi konferencia (Budapest, október 9—13.)

„Mikroszámítógépek és mikroprocesszorok alkalmazása” konferencia (Budapest, október 8—9.)

III. Magyar Mechanikai Konferencia (Miskolc, szeptember 5—7.)

Meghívások

Az osztály az alábbi külföldi tudósokat látta vendégül:

1976.

A. P. PETROV, a SZUTA lev. tagja, előadást tartott „A kibernetikai kutatások aktuális problémái a szovjet közlekedésben” címmel (Budapest, október 26.)

1977.

Prof. Dr. Ing. H. SCHWARTZ (NSZK) előadást tartott: „Zur Bedeutung der Ho-Kalman-Realisierung für die Systemtheorie und die regelungstechnische Praxis” (Budapest, június 7.) és „Markovparameter linearer zeitvariabler Systeme mit semiarierbaren Systemfunktionen” címmel (Budapest, június 9.)

I. I. ARTOBOLÉVSKIJ, a SZUTA r. tagja előadást tartott „A robottechnika tudományos problémái” címmel (Budapest, június 30.)

R. E. KALMAN (Svájc) az MTA tiszt. tagja, előadást tartott „Realization Theory of Multilinear Response Maps” címmel (Budapest, szeptember 5.)

O. O. VASZILJEV, a SZUTA lev. tagja előadást tartott „A Nemzetközi Alkalmazott Rendszeranalízis Intézet kutatási programja a vízkészletek és a környezetszabályozás területén” címmel (Budapest, október 20.)

1978.

L. F. STUMPERS (Hollandia) az URSI alelnöke előadást tartott a VI. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumon (Budapest, augusztus 28—szeptember 2.)

Prof. V. I. SIFOROV, a SZUTA lev. tagja, az MTA tiszt. tagja előadást tartott a VI. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumon (Budapest, augusztus 28—szeptember 2.)

Prof. Gunnar JANCKE, a svéd Statens Vattenfallsverk igazgatója, a CIGRE elnöke előadást tartott „The Swedish 800 kV System” címmel (Budapest, október 4.)

1979.

Prof. Dr. Sc. Techn. Kurt KELLER (Svájc) „A zárt körfolyamatú (Askeret-Keller) gázturbinarendszer mindenféle (szén, olaj, gáz, atom) tüzelőanyagra” címmel előadást tartott. (Budapest, április 25.)

Prof. Karl TUFFENTSAMMER, a Stuttgarteri Egyetem Szerszámgépipintézetének vezetője előadást tartott „Gewandelte Bedeutung der Gruppentechnologie” címmel (Budapest, szeptember 11.)

Prof. Dr. W. BOBETH, az NDK Tudományos Akadémiája r. tagja „Használati jellemzők és ruházati fiziológiai követelmények súlyozásának és optimalásának problémái” címmel tartott előadást.

Prof. Harmen BLOK (Hollandia) előadást tartott „Beiträge tribologischer Neubegriffe und Errungenschaften zum Fortschritt im Maschinenbau” címen (Budapest, október 22.)

Felolvasó ülések, előadások

Prof. W. OLSZAK (Lengyelország, az MTA tiszt. tagja): „On the Evolution of Non-Classical Yield Criteria” (Budapest, 1977. szeptember 6.)

Prof. Walter SOETE (Belgium, Gent): „Fracture Mechanics Applied to Welded Structures” (Budapest, 1977. október 20.)

Prof. F. I. NIORDSON (Dánia, Lyngby) „An Asymptotic Theory of Vibrating Plates (Budapest, 1977. november 14.)

Jándy Géza, a műszaki tud. doktora (Bp. Műszaki Egyetem) „A rendszertechnikai helyzetkép” (Budapest, 1977. november)

Prof. E. GEBHARDT a Max-Planck-Institut für Metallforschung Institut für Werkstoffwissenschaften igazgatója: „A Max-Planck Intézet a tudomány és technika szolgálatában” (Budapest, 1978. szeptember 25.)

Miroslav SKALoud, a műsz. tud. doktora (Prága): „Acélszerkezetek stabilitási kérdései” (Budapest, 1978. október 19.)

K. I. ZABLONSKIJ, a műsz. tud. doktora (Szovjetunió): „A fogaskerék-hajtóművek terhelésoptimalizációjának konstrukciós és technológiai határai (Budapest, 1978. április 6.)

BONTA János, a műsz. tud. doktora, „Lukács György esztétikájának építészeti vonatkozásai” (Budapest, 1978. október 30.)

KOVÁCS K. Pál r. tag: „Háromfázisú gépek lengési hajlamának egyszerű megítélése” (Budapest, 1979. február 21.)

Prof. Giulio MAIER (Milánó): „A transzmediterrán csővezeték tartószerkezeti problémái” (Budapest, 1979. szeptember 21.)

Prof. Dr. Techn. H. PARKUS (Bécs): „Grosse Flüssigkeitsbehälter unter Erdbebeneinwirkung” (Budapest, 1979. szeptember 26.)

A Magyar—Szovjet Tudományos és Műszaki Együttműködés 30 éves évfordulója alkalmából rendezett tudományos ülészakon elhangzott előadás (Budapest, 1979. szeptember 20.): LÉVAI András r. tag: „Különleges feladataink a hazai energetika területén”. Hozzászólók: GESZTI P. Ottó r. tag, SZENDY Károly lev. tag, GYIMESI Zoltán, a KFKI Atomenergia Kutatóintézet ig.

Székfoglalók

GESZTI P. Ottó r. tag: Különlegesen nagy feszültségű és hosszú szabadvezetékek egysarkú rövidzárlatai és gyorsvisszakapcsolási problémái (1976. november 2.)

KOZMA László r. tag: Aktuális telefontechnikai problémáink (1976. december 8.)

SIMON Sándor lev. tag: A metallurgia az acél tisztaságának szolgálatában (1977. január 12.)

KÉZDI Árpád r. tag: Új elvek és módszerek a geotechnikában (1977. március 9.)

STEFÁN Mihály lev. tag: Az anyagtudomány szerepe és néhány hazai eredménye a kohászat fejlesztésében (1977. március 16.)

CZIBERE Tibor lev. tag: Síkbeli határrétegáramlások meghatározása szakadásos örvényrétegekkel (1977. március 23.)

GÁBOR László r. tag: Hétköznapiak és csodák (Az építés világa és tudományának sajtószerepe) (1980. március 6.)

CSIBI Sándor lev. tag: A jelfeldolgozás módszerei és új lehetőségei a hírközlésben és a számítástechnikában (1980. március 12.)

Könyv- és folyóiratkiadás

Könyvek

Tudományág	1976	1977	1978	1979
	ívszám			
Automatika, energetika, híradástechnika	139,1	191,5	68	38
Gépészet-kohászat	59,9	33,5	—	75,8
Mérnöki, építészeti, közlekedési és településtudomány, valamint vízgazdálkodástudomány	151,0	150,3	183,2	257

Műfaji arányok (1976—1979)

Tudományág	Összefoglaló művek	Tanulmánykötetek	Értekezések monográfiák	Szövegkiadványok, forráskiadványok, kritikai kiadások
Automatika, energetika, híradástechnika	5	5	2	—
Gépészet-kohászat	2	4	—	—
Mérnöki, építészeti, közlekedési és településtudomány, valamint vízgazdálkodástudomány	7	4	9	—
Összesen:	14	13	11	—

A kiadott 38 műből 21 jelent meg idegen nyelven.

Az osztály könyvkiadási programjának célja olyan műszaki könyvek megjelentetése, amelyek elméleti kutatások kiemelkedő eredményeit közlik és ezen át a további kutatást, a műszaki gyakorlatot hatásosan befolyásolják. Súlyt helyeznek olyan művekre, amelyek a kiemelt országos programokban és főirányokban kitűzött célok közvetlen megvalósítását segítik elő. A megjelent könyvek szakterületek szerinti megoszlása — figyelembe véve, hogy a Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoportja kiadványai között az „Architektúra” sorozat kötetei is szerepelnek — arányosnak mondható. A műfaj szerinti megoszlás az osztály könyvkiadási koncepciójának megfelelő.

Folyóiratok

Folyóirat címe	1976	1977	1978	1979
	Ívszám			
Acta Technica	60	60	60	45
Műszaki Tudomány	30	45	45	45
Építés- és Építészettudomány	30	30	30	30
„Irányítás- és Információelmélet Problémái” c. szovjet–magyar közös folyóirat	30	30	30	30
Összesen:	150	165	165	150

A folyóiratok szerkesztésénél irányelv, hogy idegen nyelven az új tudományos eredményeket bemutató szakcikkeket, kongresszusi előadásokat tesz közzé. Magyar nyelven jelennek meg az osztály közgyűlési tudományos ülés-szakának előadásai, a székfoglalók, a tudományos helyzetelemzések, a bizottsági ülések napirendjén szereplő vitaanyagok. Ezzel az osztály folyóiratai fontos szerepet töltenek be az új tudományos eredmények elterjesztésében, a tudomány és ipari gyakorlat kapcsolatának szorosabbá tételében.

A jövő feladatai

Az osztály a továbbiakban is arra törekszik, hogy a műszaki tudományok olyan problémáit vizsgálja, amelyek népgazdasági helyzetünk, termelésünk javítását, fejlesztését segíthetik elő. Az utóbbi évben — a szakcsoportok és bizottsági hálózatok útján — megvitatott kutatási főirányok, célprogramok, prognózisok eredményes megvalósítása érdekében az érdekelt bizottságok fő feladata ezek folyamatos figyelemmel kísérése, gondozása. Ez lehetőséget nyújt arra, hogy a bizottságok szükség szerint rövid időn belül is érdemi véleményt tudjanak kialakítani. Az osztály — az eddigi gyakorlatot folytatva — helyszíni ülések, látogatások során folyamatosan figyelemmel kíséri az akadémiai kutatóintézetek, kutatóhelyek tudományos tevékenységét, eredményeit.

OSZTÁLYELNÖKI BESZÁMOLÓ

BOGNÁR GÉZA

AZ MTA RENDES TAGJA

Az 1976. évi tisztújító közgyűlés óta eltelt négy év során testületi szerveink által végzett igen sokrétű munkának tételes felsorolása — bár csak korlátozott terjedelemben — a Fehér Könyvben található. Ezek ismeretét feltételezve, jelen beszámoló csak néhány lényeges kérdésre tér ki elvégzett munkánkkal kapcsolatban.

Az osztály szervezeti kereteinek áttekintésére utalni kell arra, hogy az osztálynak három szakcsoportja (Elektrotechnikai, Gépészeti és Kohászati, valamint Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoport), 24 tudományos bizottsága, 15 magyar nemzeti bizottsága, 17 albizottsága és 14 munkabizottsága működött. Osztályülésre évente 5—6 alkalommal került sor, a bizottságok általában 4—6 ülést tartottak egy-egy évben.

Általánosságban megállapítható, hogy az osztályüléseken, szakcsoporti és bizottsági üléseken a tagok aktívan vettek részt, számos tudományos és népgazdasági kérdést vitattak meg, javaslatokat, ajánlásokat készítettek.

Hangsúlyozandó, hogy az osztály tevékenységének terheit viselő osztálytagok, szakcsoportok, bizottságok készen álltak a felmerült, sokszor igen rövid határidő alatt elvégzendő feladatok megoldására. Különösen fontos szerepet töltöttek be a szakcsoportok a szakterületüket érintő kérdésekben. Törekedtünk arra, hogy az ügyek a szakcsoportok útján kerüljenek elintézésre; ha erre az idő rövideje miatt nem volt mód, utólagosan adtunk tájékoztatást.

Az osztály tevékenységét arra összpontosította, hogy a műszaki tudományok a társadalmi-gazdasági igényekkel összhangban fejlődve segítsék elő a népgazdaság, a termelés eredményességét. Arra törekedtünk, hogy a bizottságok, szakcsoportok, osztályülések minél több, a népgazdaság s ezen belül az ipar fejlesztése szempontjából fontos kérdést vizsgáljanak meg és olyan ajánlásokat tegyenek, amelyek a tudományos eredmények gyakorlati alkalmazását, felhasználását szolgálhatják.

Az ilyen jellegű feladatok kitűzését elősegítette az, hogy már az előző ciklusokban az osztály tagjai, bizottságai foglalkoztak a népgazdasági és ágazati célprogramokkal, fejlesztési koncepciókkal. Különösen azokban a bizott-

ságokban vált ez lehetővé, ahol az illetékes felelős állami vezetők vagy megbízottaik jelenlétében vitatták meg a programokat. Ezt a folyamatot az OKKFT programok, ill. tervtanulmányok véleményezésével, a Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanács munkájában való részvétellel tovább bővítettük. Mindezek ellenére a kellő kiterjedésű és mélységű tájékozottsággal általában nem rendelkezünk. Nem lehet vitás az, hogy ha konkrét módon kívánunk egy-egy fejlesztési kérdésben állást foglalni, folyamatosan figyelemmel kell kísérnünk annak valamennyi vonatkozását, tudományos kutatási igényeit és ezek kielégítésének lehetőségeit. Ez a követelmény teszi szükségessé azt, hogy az OKKFT programok, fejlesztési prognózisok tárgykörében illetékes bizottságok folyamatosan kísérjék figyelemmel ezeket, tapasztalataikról, megállapításaikról az osztály útján tájékoztassák a felelős állami szerveket. Ilyen módon rövid idő alatt lehet véleményt, állásfoglalást e témakörökkel kapcsolatban kialakítani.

Az osztály — a bizottságok, a szakcsoportok előkészítő munkája alapján — több, az ipar fejlesztése szempontjából számottevő kérdésben illetékes szervek számára osztályálláspontot alakított ki. Ezek között az osztályülés több ízben foglalkozott a hazai energetikai és atomenergetikai gépgyártás kérdéseivel. Abból indultunk ki, hogy olyan területeken, ahol a megfelelő hazai szellemi kutató-fejlesztő kapacitás rendelkezésre áll, a termelést erre alapozva kell folytatni. Az erőművi gépgyártás vonatkozásában a Ganz Villamossági Gyar saját erőből képes 500 MW-os generátort előállítani. A Láng Gépgyár saját erőből kifejlesztette a 100 MW-os gőzturbinát, majd Brown Boveri-licenc-el 200 MW-ra emelte a teljesítményt. A vízgépek vonatkozásában nemzetközileg elismert tudományos kapacitással rendelkezünk az egyetemeken.

Ha most figyelembe vesszük azt, hogy a fejlődő országoknak elsősorban nem egyes gépegységekre, hanem komplett energiatermelő rendszerekre van szükségük, magyar szellemi bázisra támaszkodva lehetőségük volna ilyen rendszerek szállítására, amennyiben megfelelő magyar referencia-rendszer bemutatásával alá tudnánk támasztani szállítási készségünket. Mindenezt problémákat feltáró tanulmányt az osztályülésen történt megvitatás után valamennyi érdekelt párt- és kormányzati szerv vezetőjének megküldtük. Az átirataikban adott válaszok megerősítették a felvetett problémák fontosságát és köszönettel vették az osztályülés kezdeményező állásfoglalásait.

Ezek után az osztály a gépipar, az energiaipar, a beruházó szektor és a külkereskedelem érdekeit összehangoló kormányzati előterjesztés készítését tartotta szükségesnek. Erre vonatkozóan kialakított állásfoglalását 32 legfelső vezetőnek küldötte meg. Az illetékes szervek az előterjesztéssel kapcsolatos — azzal egyetértő, illetve azt vitató — írásbeli válaszhai ismeretében a magyar erőművi gépgyártás tárgyában illetékes osztálytagjai összefoglalást készítettek. Ezt az ország legfelsőbb vezetőinek az MTA főtitkára küldötte meg. A megkeresett vezetők eddig beérkezett válaszhai különösen gazdaságos-

sági megfontolásokra utalva, további vizsgálatokat igényelnek, amelyeket az MTA Közgazdaságtudományi Kutató Intézete fog elvégezni.

Az osztály részéről felvetett problémakör következetes továbbvitele megítélésünk szerint helyes volt. Az osztály kötelessége, hogy tudományosan megalapozott véleményét — a rendelkezésre álló ismeretanyag birtokában — az illetékes szervek elé tárja. Nem tekinthető kudarcnak vagy eredménytelenségnek, ha a döntésre illetékesek szélesebbkörű információk birtokában véleményüinktől eltérő módon döntenek. Ez azért hangsúlyozandó, mert akadtak olyan vélemények is, amelyek szerint kár minden ilyen jellegű kezdeményezés, mert azokat az illetékesek úgy sem veszik figyelembe. A szóbanforgó témakör, de sok más — osztályülésen vagy bizottságokban megtárgyalt — téma mint pl. a Gabcsikovo—Nagymaros-i Vízlépcsőrendszer építésével kapcsolatos tudományos kérdések, vagy az építészettudományi kutatások szerepe és feladata az építés iparosításában, számos olyan problémákra mutattak rá, amelyeket az illetékes állami szervek további munkájukban hasznosítanak. Javaslatainkra általában konkrét válaszokat kapunk, nem egy esetben a további közreműködésünket kéri.

A népgazdaság, az ipar fejlődését szolgálhatják azok a munkák, amelyeket a népgazdasági tervezéssel kapcsolatban eddig végeztünk.

Az osztály a szakcsoportok, a bizottságok egész hálózatának bekapcsolásával dolgozta ki ajánlásait a VI. ötéves népgazdasági terv K+F fejezetéhez, és az Országos Középtávú Kutatási-Fejlesztési Tervhez. Az ajánlásokat az osztályülés megvitatta és egyes témák kiemelésére javaslatokat tett. Az volna kívánatos, hogy valamennyi bizottság folyamatosan kísérje figyelemmel a kutatóhelyek munkáját, tanácsaikkal segítsék elő a kutatások további előrehaladását. Bizottságaink összetétele kedvező lehetőségeket biztosít arra, hogy a kutatások irányításáért, eredményességéért felelős bizottsági tagok az ajánlásokat, tanácsokat hasznosítsák. Ezek a közvetlen hatások sokszor eredményesebbek, mint az adminisztratív útra tereltek.

Az Akadémia elnökének felkérésére a középtávú népgazdasági tervezés megalapozását szolgáló gazdaságpolitikai részkoncepció két fejezetét dolgozták ki testületi szerveink az illetékes tárcák és az OMFB bevonásával. Így a gépipari technológiák fejlesztését célzó kutatási—fejlesztési fejezetet az Elméleti Technológiai Bizottság; az energiatermelést, az energiával, valamint az energiahordozókkal való gazdálkodást és racionális felhasználást szolgáló kutatások tárgyú fejezetet az MTA—OMFB kibővített energetikai tudományos bizottság dolgozta ki.

A részkoncepció e két fontos fejezetének kidolgozásával még nem fejeződött be e bizottságok munkája. Arra van szükség, hogy folyamatosan kísérjék figyelemmel a tervek megvalósulását, módosításának szükségességét.

Arra törekedtünk, hogy erősítsük kapcsolatainkat az akadémiai, egyetemi és ipari kutatóintézetekkel, üzemekkel. Az osztályülés a tematikailag

hozzá tartozó kutatóintézetek munkáját rendszeresen megvizsgálta. Ennek során osztályüléseket tartottunk a Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetben, a Műszaki Fizikai Kutató Intézetben, a Mechanikai Munkaközösségnél. Ezeken az osztályüléseken az intézetek munkájáról készült beszámolókat tárgyaltuk meg, véleményyeztük, látogatásokat tettünk a laboratóriumokban. A kutatómunka mélyebb megismerése érdekében az osztály tagjai osztályülés keretében csak egy-egy fő kutatási területtel ismerkednek meg, a többi kutatási területet nem osztályülés, hanem intézetlátogatás formájában a szakmailag érdekelt tagok tekintik át. Ez egyrészt módot ad a részletes megismerésre, másrészt a szakmailag érdekelt tagok kezdeményező javaslatainak kibontakoztatására.

A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen tartott osztályülés az Egyetemen folyó mechanikai, mechanikai technológiai és kohászati kutatásokat tekintette át. Megállapította azt, hogy a kutatások eredményesek, többségük népgazdasági célkitűzéseket szolgálva, a gyakorlatban is alkalmazásra kerül.

Bizottságaink többsége rendszeresen foglalkozik az egyetemi kutatóhelyek, illetve az ipari kutató intézetek munkájával, ezek kutatási terveivel, eredményeivel. A kutatóhelyeken tartott üléseken számos hasznos javaslat hangzik el, melyeket a jelenlevő kutatóhelyi vezetők közvetlenül is hasznosítanak.

Eredményesnek bizonyultak azok az ülések is, amelyeket az osztály, illetve a bizottságok ipari üzemekben tartottak. Osztályülést tartottak a Csepel Művekben, ahol az MTA kutatóintézetei (SZTAKI, MŰFI, KFKI) kutatási-fejlesztési eredményeinek gyakorlati hasznosítását tekintették át.

Számoshbizottságunk élt ezzel a lehetőséggel és kezdeményező lépéseket tett a tudományos eredmények ipari hasznosítása érdekében. Az együttműködés ilyen formájának kibontakoztatása elősegítheti annak a szemléletnek megváltoztatását, amely a hazai kutatási eredmények felhasználása helyett minden területen csak a licenc-vásárlásokat tartja kedvezőnek. A jelenleginél sokkal inkább fel lehetne használni hazai tudományos eredményeinket, ha ezt az ipar az eddigieknél szélesebb körben megismerné és vállalná azok bevezetését.

Az idei közgyűlés megnyitásakor nagy súlyt kapott a tudományos eredmények ipari hasznosításával kapcsolatos problémák felvetése. Véleményünk szerint jelenleg a hatékony kapcsolatnak a kutatás-fejlesztés és az ipar között az egyeztetett tervnek kell lennie. Olyan terv, amelynek végrehajtási feltételei biztosítva vannak.

Az OTTKT 11 célprogramjánál a népgazdasági tervvel való egyeztetés mélyrehatóan nem történt meg. Úgyszintén az OKKFT népgazdasági tervekkel való egyeztetése sem történt meg. A kutatás-fejlesztés hatékonyságának biztosítására elsősorban a kutatási-fejlesztési terveket kell a népgazdasági tervekkel egyeztetni. És még valami. Mindehhez egyeztetett kutatási-fejlesztési és licencpolitika szükséges. Mondassék ki végre, hogy a licenc vásárlásoknál mérlegelni kell a hazai szellemi kapacitások felhasználását.

A Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoport kezdeményezésére az osztály megindította a technológiai kutatások helyzete és jelentősége tárgyú témakör kidolgozását. Ennek során Technológiai Kutatási Osztályközi Bizottságot szerveztünk a II., III., VII., és IX. osztályok bevonásával. A kidolgozott elvek alapján több tudományos bizottság foglalkozott a témakörrel. A gyorsabb előrehaladást egyrészt az akadályozza, hogy a közgazdasági, szociológiai, pszichológiai problémák technológiáival összefüggő hatásainak vizsgálata, elemzése még nem indult meg, másrészt a súlypontképzésben nem alakultak ki még egységes vélemények. Továbbá a sürgős intézkedést igénylő feladatokat feltárva, javaslatokat kellene tenni a technológia hatékony fejlesztésére. Az elkövetkező időszakban határozottabban kell igényelni a közgazdasági és más társadalomtudományi vizsgálatokat. Ezek köréből csak néhányat említve utalok a szocialista gazdasági és erkölcsi értékrendszerünk problémájára, a központi irányítás és vállalati önállóság ellentmondásaira (a fejlett ipari országokban a fejlődést megszabó hadiipar központilag irányít), a vállalatok kooperációira való ösztönzésének hiányosságaira, egyes gazdasági mutatóknak műszaki fejlesztés elleni hatásaira, a termelés érdekeit tükröző vállalati nagyság megoldatlan problémájára stb.

A hazai műszaki tudományos kutatások irányainak kialakításában jelentős szerepet játszanak a tudományos helyzetelemzések. A tudományos helyzet-elemzések kidolgozása 1973-ban indult meg. A beszámolási időszakban bizottságaink 21 tudományos helyzetelemzést készítettek el. Az elemzések egy része változtatásokat, új irányokat ajánlott, más része egyes részterületekre vonatkozó súlypontképzést, illetve mélyebb elemzést tartalmaz annak érdekében, hogy ezek fontosságára hívja fel az érdekeltek figyelmét. Az osztály az elkészült és megvitatott helyzetképek közül azokat, amelyek súlyponti problémákra mutattak rá, az illetékes főhatóságoknak küldötte meg, illetve a Műszaki Tudományban vagy más szaklapban publikálta.

Az osztály igyekezett az Akadémia társosztályaival való együttműködést erősíteni. A legszorosabb együttműködésünk a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályával alakult ki. Jóformán rendszeressé váltak a közgyűlések során együttes tudományos üléseink. A Föld- és Bányászati Tudományok Osztályával fennálló szoros kapcsolataink keretében közösen Geotermikus Energiahasznosítási albizottságot hoztunk létre, amely a geotermikus energia hazai hasznosításának helyzetére, lehetőségeire és feltételeire vonatkozó tanulmányt dolgozott ki. A konkrét teendők kialakítása érdekében az illetékes főhatóságok részvételével megtartott üléseken összeállított javaslatokat az Akadémia alelnöke az illetékes miniszterelnökhelyettesnek küldte meg, aki intézkedett és további segítséget kért az Akadémiától.

Együttműködésünk az OMFB-vel eredményes és gyümölcsöző volt. Az osztály tagjai rendszeresen részt vettek a Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanács ülésein. Számos koncepciótervezet, tanulmány kidolgozásában működ-

tek közre osztálytagjaink, bizottságaink. Eredményesen működött az OMFB-vel közös Energetikai, valamint Számítástechnika Alkalmazási Tudományos Bizottságunk.

Az OMFB koncepcióit, tanulmányait folyamatosan megkapjuk, egyes esetekben — különösen akkor, amikor azok érdemi módosítására ill. kiegészítésére lehetőség van — érdemi véleményt is adunk. Legutóbb az OMFB elnökhelyettese, mint az osztály tanácskozó jogú tagja kért véleményt akadémikusainktól a tervezett 100 000 t/év kapacitású alumíniumkohó villamosenergia-ellátásával kapcsolatban. A szakmailag érdekelt akadémikusok által rövid idő alatt elkészített véleménnyel az OMFB elnöke egyetértett.

Az Oktatási Minisztériummal a tanszékek tudományos tevékenységének felülvizsgálatával, egyetemi tanárok és docensek kinevezésével összefüggésben voltak kapcsolataink. A beszámolási ciklus első időszakában több alkalommal foglalkoztunk a kutatási tervek teljesítésével és értékelésével. Reméljük, hogy a következő időszakban esedékes újabb felülvizsgálatok során sikerül majd kiküszöbölni az előző munka során felmerült nehézségeket.

Véleményünk szerint a beszámolókkal és tervekkel együtt, összevontan kell foglalkozni és az Osztálynak csak a fontosabb, új tudományos eredményekre számottartó kutatóhelyek munkáját kellene felülvizsgálni.

Kapcsolatunk a Természettudományi I. Főosztállyal megfelelő. A főosztály vezetője általában részt vesz az osztályüléseken, ahol beszámol a Főosztály fontosabb eseményeiről. Az osztály — amint arra már utalás történt — fokozottabb mértékben foglalkozott az akadémiai kutatóhelyek munkájával és további tevékenységével.

A szakcsoportok eredményesen irányították és koordinálták tudományos bizottságaik munkáját. Állásfoglalásaik, javaslataik megkönnyítették az osztályülés és az osztályelnök munkáját. Tevékenyen közreműködtek az osztályülések elé kerülő, tudományos kérdések előkészítésében. Szükséges, hogy a szakcsoportok több tudományos problémát tárgyaljanak és szakterületük tudományos helyzetét olyan részletességgel ismerjék, hogy adott esetben a kívánt rövid idő alatt is reális álláspontot alakíthassanak ki.

Az osztály tudományos bizottságai rendszeresen foglalkoztak tudományterületük aktuális tudományos témaival, tudományos helyzetképeket dolgoztak ki, figyelemmel kísérték a kutatóhelyek tevékenységét, eredményeit. Több bizottság tett kezdeményező javaslatot a tudományos kutatások irányaira, kutatási eredmények hasznosítására. Jóformán minden bizottság véleményezett OMFB koncepciókat, tanulmányokat, tárca javaslatokat, főhatósági előterjesztéseket.

A bizottságok több ízben egy-egy ülésüket tudományos kutatóhelyen, ipari üzemben tartják. Ezek az ülések alkalmasak lehetnek arra, hogy a bizottság befolyásolja a tudományos kutatást és elősegítse a kutatási eredmények gyakorlati felhasználását. Hasonlóképpen a bizottságok közötti együttműkö-

dés is fejlődött az utóbbi években. Azonban e téren még igen sok lehetőséget nem használtunk ki, ennek pótlására kell a jövőben törekednünk.

Nemzetközi kapcsolatainkat nemzeti bizottságaink útján tovább bővítettük. Az osztály keretében 14 magyar nemzeti bizottság működik. Örvendetes, hogy tagjaink több nagy nemzetközi szervezetben töltenek be jelentős vezető tisztségeket. A nemzetközi téren végzett munkánkról az elmúlt év végén számoltunk be a Nemzetközi Kapcsolatok Bizottságának. Sajnálatos, hogy az adott anyagi keretek erősen korlátozzák kapcsolataink további ki szélesítését. Azt azonban általában biztosítja a Nemzetközi Kapcsolatok Főosztálya, hogy tisztségviselőink a rendezvényeken részt vegyenek.

Osztályunk, bizottságaink az eltelt 4 év alatt 28 nagyobb hazai konferenciát, szimpóziumot, kollokviumot rendeztek, néhány esetben tudományos egyesületekkel együttesen. A rendezvények általában sikeresek voltak, nem csak a tudományos tájékozódást szélesítették, hanem bővítették a személyes és szervezett kapcsolatokat.

12 külföldi tudóst láttunk vendégül, akik előadásokat is tartottak. 24 külföldi és hazai tudós tartott tudományos előadást és 12 székfoglalóra került sor.

Az osztály munkájából vázlatosan kiragadott események, tevékenységek érzékeltették azt, hogy a műszaki tudományok fejlődésének elősegítésére, eredményeinek népgazdasági célokra való felhasználására törekedtünk.

A Magyar Tudományos Akadémia módosított alapszabályai tovább növelték az Akadémia szerepét és felelősségét a tudományos életben, a tudomány irányításában, gyakorlati hasznosításában. A feladatok teljesítése azt kívánja, hogy bizottságainknak, szakcsoportjainknak, osztályunknak tudományterületük fejlődését folyamatosan figyelemmel kísérve módjuk legyen megalapozott véleményt adni a kutatási irányok, kutatási területek kiválasztása, az elvégzett kutatások értékelése, súlyozása tekintetében. Szakcsoportjaink, bizottságaink megfelelő előkészítés alapján saját kezdeményezésükre egy-egy tudományosan megalapozott probléma felvetésével elősegíthetik a felelős államigazgatási és ipari szervek döntésének megalapozását. Az ilyen kérdéseknél azonban elengedhetetlen a téma valamennyi előzményének és problémájának ismerete, feltárása. E téren tovább kell munkánkat fejlesztenünk.

Jelen beszámoló a Műszaki Tudományok Osztályának az elmúlt 4 éves időszakban folytatott tevékenységét ismerteti, amely a Fehér könyvben foglalt adatokkal együtt sem tekinthető teljesnek. Ezért kíváncsok a beszámoló-
nak a különböző szakterületek szempontjaival való kiegészítése, és az esetleges észrevételek közlése.

Hozzászólók:

Kézdi Árpád

Kovács K. Pál

Prohászka János

Kovács György

Stefán Mihály

Lévai András

Juhász Ádám, NIM államtitkár

Alföldi László főosztályvezető, OVH

Szendy Károly

AZ ALUMÍNÍUM- ÉS A SZÍNESFÉMKOHÁSZAT ENERGOTECHNOLÓGIAI HELYZETE ÉS FEJLESZTÉSI IRÁNYAI*

JUHÁSZ ÁDÁM**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Az egyes fémek árát és ezen keresztül jövőbeni felhasználásuk volumenét, illetve arányait döntő mértékben a felhasznált energiaköltségek határozzák meg. Az energia-költségek elemzésénél figyelembe kell venni az egyes energiahordozók jelentősen eltérő fajlagos energiaértékét is és az értékarányok jövőbeni várható változását. A gyártástechnológia fejlesztésénél törekedni kell az olcsóbb energiefajták alkalmazására. Az energiaigényesség önmagában nem jelent korlátozó tényezőt az egyes fémek felhasználásában, mivel például az alumínium kis sűrűsége és jó áramvezetése a közlekedésben és a villamosiparban nagyobb energiamegtakarítást eredményez, mint az alumínium előállításához felhasználandó energia mennyisége. Ezért az alumíniumfelhasználás tartós növekedésére lehet számítani. A réz termelése kevésbé energiaigényes, ezért felhasználása az alumínium rovására is növekedhet. Meghatározó lehet azonban az érckészletek igen korlátozott volta. Az egyre szegényebb ércek feldolgozása az energiaigényességet rohamosan növeli.

1. Bevezetés

Az alumínium és ötvözetekének tömegegységre vetített energiaigényessége lényegesen nagyobb, mint a többi szerkezeti anyagé, viszont a tulajdonságokra vetített energiasajátosságok terén már lényegesen más a helyzet. (1. táblázat). A fajlagos tulajdonságokra vetített energiatartalomban — a tulajdonságok egy-egy ötvözetcsoporthoz belüli változásai miatt — lényeges eltérések adódhatnak, ami lehetővé teszi azt, hogy adott feladatot a legkisebb energia-befektetéssel lehessen megoldani.

A tulajdonságokra vetített fajlagos energia segítségével megfogalmazhatók az energiacsökkentést célzó lehetőségek:

- a technológia korszerűsítése, a jelenlegi technológiai veszteségek mérséklése, illetve
- az új eljárások (alumíniumklorid, karbotermikus redukció, stb.) révén a felhasznált energia csökkentése,
- a tulajdonságok javítása révén azonos energia-bevitellel hatékonyabb anyagfelhasználás biztosítása.

* A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya által 1980. május 6-án tartott tudományos ülésén elhangzott előadás.

** Dr. Juhász Ádám, Bp. Vöröshadsereg u. 99. 1021.

I. táblázat

A szerkezeti anyagok tömeg- és tulajdonságokra vetített fajlagos energia felhasználása

	szakító szil.	csavarási modu- lusz	fáradási szilárd- ság	sűrűség	fajlagos energia	fajlagos energiafelhasználás		
						szakító szilárdság	csavarási modulusz	kifáradási szilárdság
	MN/m ²	GN/m ²	MN/m ²	t/m ³	GJ/t	MJ/mMN	MJ/mMN	MJ/mMN
Öntöttvas	400	35	105	7,3	57,6	1055	12,0	4000
Lágyacél	250	77	193	7,85	57,6	1800	5,87	2 340
Szerkezeti acél	800	77	495	7,83	57,6	565	5,87	910
Rozsdamentes acél	300	86	360	7,90	57,6	1515	5,29	1 260
Nagyszilárds. acél	1200	86	680	7,90	57,6	380	5,29	670
Réz-cink ötvözet	400	37,3	140	8,36	59,4	1240	13,32	3 550
Alumíniumötvözet	300	26	90	2,7	284,4	2555	29,52	8 530
Magnéziumötvözet	190	17,5	95	1,7	414,0	3705	40,21	7 410
Titánötvözet	960	45	310	4,51	558,0	2630	55,91	8 120
Polipropilén	30	—	7,5	0,9	72,0	2160	—	8 640
Propatén	35	—	7,5	0,9	72,0	1855	—	8 640
Polietilén	13	—	3,3	0,92	54,0	3825	—	15 290
Rigidex 2000	30	—	4	0,95	54,0	1710	—	12 816
Nylon 66	80	—	20	1,36	180,0	3060	—	12 240
PVC	50	—	12,5	1,40	72,0	2015	—	88 064

Az első két lehetőség aktív, míg az utolsó passzív energiacsökkenés. Ezek a fejlesztési irányok párhuzamosan végrehajthatók, bár egyes esetekben a tulajdonságok javítása csak bizonyos többletenergiák bevétele révén biztosítható (pl. ötvöztetés, ötvözetek szilárdságnövelése, hőkezelés).

A technológiák megválasztása, a műszaki fejlesztési eredmények elérése és realizálása — a helyi adottságokat figyelembe véve — régebben is gazdaságossági kérdés volt és a jövőben is az lesz, de a számításoknál nemcsak a felhasznált energia hőtartalmát, hanem annak specifikus értékét is figyelembe kell venni, mivel — amint erre még visszatérünk — az egyes energiafajták hőértéke között igen lényeges különbségek vannak.

Az energiaárak 1974 óta bekövetkezett növekedése szükségszerűen azt hozza magával, hogy az energiakérdéssel külön is foglalkozni kell és a gazdaságossági számításokat időről-időre felül kell vizsgálni, újra kell értékelni és törekedni kell arra, hogy a fejlesztési programok kidolgozásakor ne a jelenlegi helyzetből, hanem a várható fejlődési tendenciát is figyelembe véve hozzunk döntéseket.

2. Az energetikai, energotechnológiai megközelítés módszerei

Energiaigényességen értjük valamilyen termék előállításához a gyártási folyamat során felhasznált összes energia mennyiségét valamilyen naturális mutatóban kifejezve. Ez azonban csak bizonyos durva összehasonlításokra ad

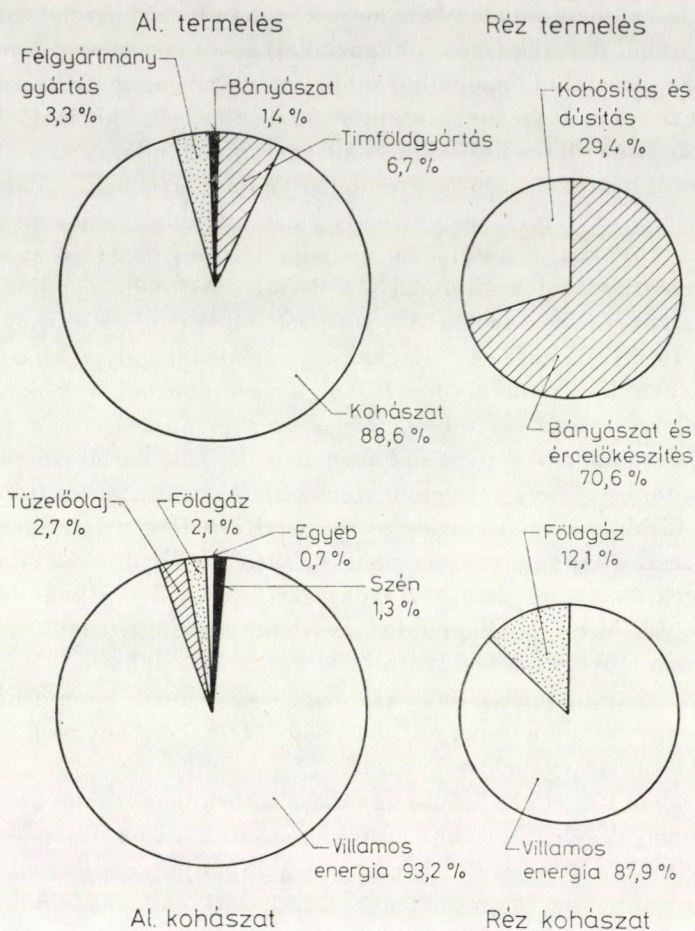
lehetőséget, hiszen nem mindegy az, hogy a szóban forgó energiát milyen alap-energiahordozóból nyerjük (szén, földgáz, olaj) és annak mennyi a pénzben kifejezett értéke. Az előbbi fogalomnál többet mond az energiafelhasználás hatékonysága. Ezen az egységnyi tulajdonság (szilárdság, korrózióállóság, kifáradási határ stb.) eléréséhez felhasznált energia értendő. A különböző alap-energiahordozókból származó energiafelhasználás értékbeli különbözősége a megfelelő árárányok figyelembevételével lehet értékelni. A jelenlegi hazai és világgiazi árárányokat a 2. táblázat foglalja össze és megadja az egyes árak becsült évenkénti százalékos növekedési ütemét. A jövőbeni fejlesztési célok kitűzésekor alapvető szempontként kell figyelembe venni azt is, hogy az egyes energiahordozó fajták hazai és világméretű tartalékai milyen ellátási biztonságot jelentenek hosszabb távon. Ebből a szempontból a legkedvezőbb a helyzet a villamosenergia esetében, ahol a szén és nukleáris energiabázis kimerülési időtartama a világban ma még nem látszik korlátozotttnak, figyelembe véve a több száz évre elegendő szénkészleteket és a szaporító reaktorok, valamint a fúziós energiatermelés várható elterjedését, ami időben szinte korlátlanra teszi a villamosenergia igények kielégítését. Rosszabb a helyzet a szénhidrogének és a vasgyártáshoz szükséges koksz, illetve kokszolható szén esetében, melyek hazai és világméretű készletei csak évtizedekben mérhetők és ez várhatóan lényegesen befolyásolja az egyes energiahordozók várható árszkalációját, valamint ennek hatására azok egymáshoz viszonyított árait is. Ez a körülmény a villamosenergiát használó szerkezeti anyagok előállítását teszi hosszabb távon perspektívikusabbá.

Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a körülményt sem, hogy az egyes szerkezeti anyagok előállításához szükséges beruházások fajlagos értéke is lényegesen eltérő, ezt viszont itt most nem kívánjuk részletezni. Alapvető körülmény továbbá az, hogy az egyes szerkezeti anyagok egymással való helyettesíthetősége korlátozott (pl. hőre lágyuló műanyagok nem alkalmaz-

2. táblázat

Energia, illetve energiahordozó árak

Energiahordozó	Hazai árbázison		Világpiaci bázison		1980—1990 között prognosztizált éves növekedés %-ban
	Ft/GJ	%	Ft/GJ	%	
Barnaszén	35,36	100	69,04	195	14
Lignit	30,58	87	57,33	162	—
Villamosenergia	333,73	944	397,28	1124	10
Kőolaj	135,21	382	163,88	464	15
Szuperbenzin	358,10	1013	334,45	946	15
Normálbenzin	314,38	889	317,73	899	15
Gázolaj	192,31	544	298,14	843	15
Fűtőolaj	72,25	211	165,79	469	15
Háztartási olaj	76,69	217	175,82	497	15
Földgáz	68,32	192	90,78	257	15



1. ábra. Az alumínium és rézipar energiafelhasználásának arányai

hatók nagyobb hőigénybevétel esetén, a közönséges acélok korrózióállósága nem mérhető össze az alumíniuméval stb.) ezért azok eltérő energiaigényessége és ára nem indokol egyértelmű felhasználási, illetve helyettesítési tendenciát. Ebből következik az is, hogy az egyes szerkezeti anyagok energiaigényességében jelentkező lényeges különbségek, azok jelenlegi és jövőbeni világpiaci áraiban érvényesülni fognak, de ez csak azokra a termelőkre jelent hátrányt, akik a többieknél több vagy drágább energiát használnak fel azonos termék előállítására. Tehát például azok az alumíniumtermelők kerülnek relatív hátrányba, akik olajbázisú villamosenergiát kénytelenek használni a szénbázisú energiát használókkal szemben.

Az 1. ábra szakterületenként mutatja az 1 tonna fémre vetített energiafelhasználás százalékos megoszlását értékarányosan mind az alumínium, mind

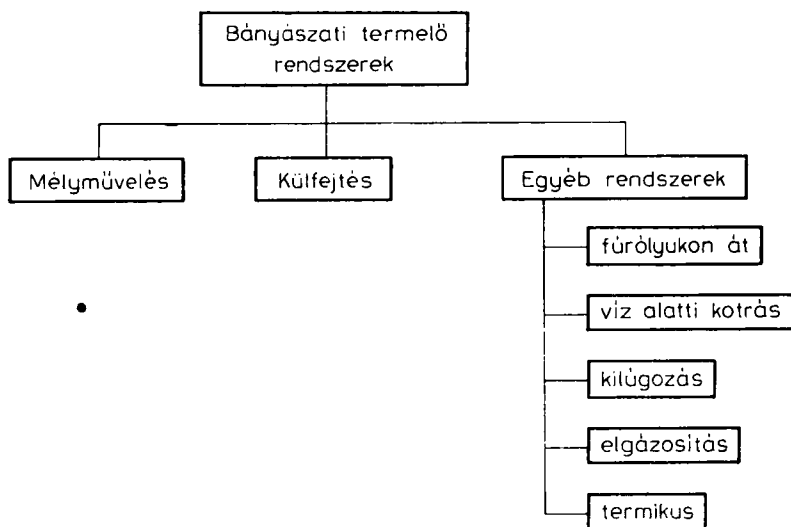
pedig a réz esetére. Az ábra alsó felében az is érzékelhető, hogy az energiafelhasználás milyen energiafajtákból tevődik össze. A következők a lehetséges energiamegtakarításokat szakterületenként külön-külön tárgyalják.

3. Alumíniumkohászat

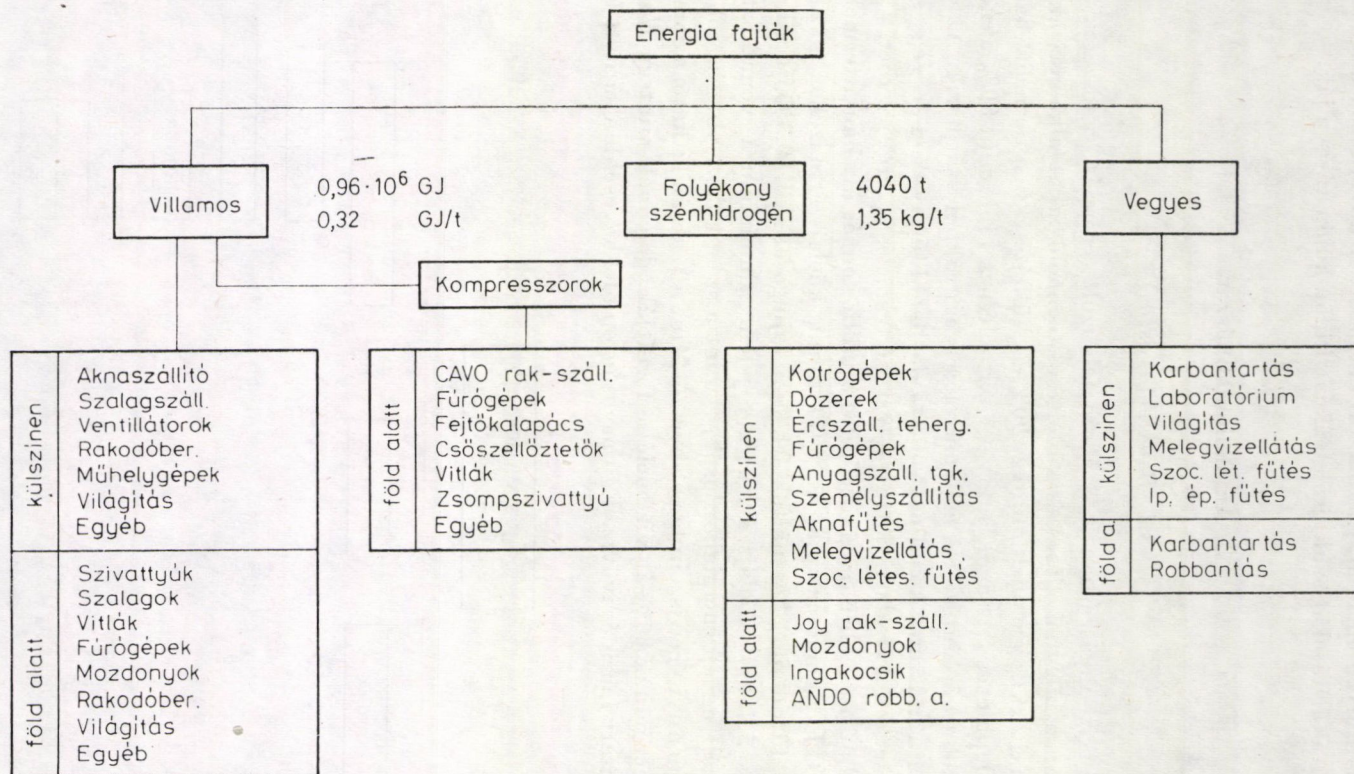
3.1. Bauxitbányászat

A bauxitbányászatban a 2. ábrán felvázolt termelési rendszerek közül napjainkban a mélyműveléses és külfejtéses technológiákat alkalmazzák. Míg a világ bauxitszükségletének mintegy 90%-át külfejtésekben termelik, hazánkban — a települési adottságok miatt — a termelésnek több mint 80%-a energiaigényes, karsztvízszint alatti mélyműveléses bányákból származik. Az egyéb technológiai rendszerek közül nagyobb távlatban a fúrólukon át, vagy sekély település esetben a vízalatti kotrással történő termelés is teret nyerhet.

Az elmúlt években, megközelítőleg 3 millió tonnás évi bauxittermeléshez $0,96 \times 10^6$ GJ villamosenergiát és 4040 tonna kőolajszármazékot (gázolajat, benzint és fűtőolajat) használtak fel, ami fajlagosan kb. 0,3 GJ/t villamosenergiát és 5,4 kg/t kőolajszármazékot jelent alumíniumra vonatkoztatva. A felhasznált egyéb energiahordozók — mint a szén, koks, pb. gáz, robbanóanyag — mennyisége viszonylag elenyésző. Mint a 3. ábrán látható, a domináns villamosenergiának 80%-át vízemelésre fordítják, de ennek mintegy 1/4 része az értékesített ipari- és ivóvíz. Egy nagyságrenddel kevesebb a sűrített levegő



2. ábra. Bányászati termelés rendszerei



3. ábra. A bányászatban felhasznált energiafajták

előállítására (7%), a bányabeli szállításra (6%) és szellőztetésre (4%) fordított villamosenergia. Ezen fogyasztók közül a sűrített levegő érdemel nagyobb figyelmet, mert a kétszeri energiaátalakítás és nagy vezetési veszteségek miatt kedvezőtlen hatásokkal hasznosítják az elsődlegesen felhasznált villamosenergiát.

Mivel a vízemelés mennyisége nagyjából független a termelés volumenétől és a szellőztetés, valamint a szalagszállítás is a termelési csúcsokra méretezett, a legvízveszélyesebb bányáknál a fajlagos villamosenergia felhasználás csökkentésének leghatékonyabb módszere a koncentráltabb fejtés-telepítés, a gyorsabb ütemű leművelés, azaz a bányák termelési kapacitásának növelése és maximális kihasználása. E mellett a folyamatosan megkívánt törekvés mellett rövid távon eredményesek lehetnek a vízemelésnél és sűrített levegő ellátásnál a szivattyúk és kompresszorok, valamint vezetékeik karbantartására, a villamos csúcsidei szivattyú-leállítási lehetőségek maximális kihasználására vonatkozó intézkedések is.

A középtávú takarékosági intézkedések közül kiemelhető a szivattyúk hatásfokára káros hordalék kiülepítésének javítása, a csúcsidei leállások meghosszabbítását lehetővé tevő víztároló térfogat növelése, a sűrített levegő meghajtású gépeknek villamos, illetve elektrohidraulikus gépekre való fokozatos cseréje és, ahol a sűrített levegő nem nélkülözhető, ott helyi, mobil kompresszorok alkalmazása. Eredményes lehet a légajtók és a szállítószalagok terhelés-függvényes automatizálása is.

Hosszabb távon új, kevesebb vízemelést igénylő bányászati rendszerek (pl. hidraulikus termelés fúrólyukon át; fő vízvezető törésvonalak tamponálása) és a külszíni ércszállítás korszerűsítése hozhat jelentős energiamegtakarítást.

3.2 *Timföldgyártás*

3.2.1 *A bauxit minőségének hatása az optimális energiafogyasztásra és az energotechnológiaiailag optimális technológia*

A timföldgyárak optimális energiafogyasztását lényegében négy külső tényező határozza meg:

- a termelni kívánt timföld minősége,
- a feldolgozott bauxit ásványtani típusa,
- a feldolgozott bauxit kémiai összetétele,
- a feldolgozott bauxit egyes fizikai tulajdonságai.

A magyar gyárak úgynevezett lisztes típusú timföldet gyártanak, ami az energiafelhasználás szempontjából kedvező, mert kb. 50%-kal nagyobb körfolyamati oldatkonzentrációkkal dolgozhatnak, mint az ún. homokszerű timföldet előállító üzemek. A bauxitjaink ásványtani szempontból bőhmites típusúak, melyek optimális feltárási hőmérséklete 250 °C körül van. Ennek

3. táblázat

A magyar timföldgyárak jelenlegi energia-

Üzem	Szén		Fűtőolaj		Földgáz	
	t	GJ	kg	GJ	m ³	GJ
Ajka	0,97	18,0			133	4,7
Almásfüzitő	0,05	0,72	367	14,8	—	—
MOTIM	0,56	7,6	314	12,7	—	—
Átlag	0,55	7,51	178	7,2	67	2,4

Megjegyzés: — az adatok a bruttó (fűtés, szoc. létesítmények stb.) energiafelhasználást mutatják,
 — az adatok nem tartalmazzák az értékesített energiákat,
 — a villamosenergia termelés hatásfoka 33%,
 — az erőtelepi hatásfok 80%.

megfelelően a feltáráshoz $7 \div 8$ MPa, míg a bepárláshoz $0,4 \div 0,6$ MPa nyomású gőzt használnak gyáraink. A nagy- és kisnyomású gőzfogyasztás helyes aránya jelentősen kihat az energiafogyasztásra, mert a kisnyomású gőz formájában jelentkező hőigény fedezésére szolgáló gőzt előzőleg villamosenergia termelésére lehet felhasználni.

A „kémiai” szennyezők közül a különféle formában előforduló kovássav, vasoxidok és titándioxidok a legfontosabbak, amelyek a kihozatalt is befolyásolják, illetve azáltal fejtik ki káros hatásukat, hogy vörösiszapot képeznek, és ennek elfogadható lúgtartalomig történő kimosása érdekében vizet kell behozni a körfolyamatba, amit — ha mennyisége meghaladja a feltárásnál elpárologtatottal egyensúlyban tarthatót — bepárlással kell a körfolyamatból eltávolítani.

A bauxit és a belőle származó vörösiszap egyes fizikai tulajdonságai különféle módon hatnak az energiafelhasználásra. Így pl. kemény bauxitok többlet őrlési munkát igényelnek, rosszul ülepedő vörösiszapok kimosásához nagyobb vízmennyiségre, általában többlet bepárlásra van szükség.

A jelenleg feldolgozott 50—52% Al_2O_3 -at tartalmazó, elég jól őrlhető és közepesen ülepedő vörösiszapot adó hazai bauxitok lisztes típusú timfölddé való feldolgozásához optimális esetben kb. 11 GJ/t (villamosenergia nélkül számított) elsődleges hőenergiára (amiből kb. 3,1—3,2 GJ/t-t mindenképpen földgáz vagy fűtőolaj) és elsődleges hőhordozóban további kb. 2,7 GJ/t villamos energiára van szükség. Az erre a célra szolgáló optimális technológia fő elemei a következők:

- 240—260 °C-os feltárás mész vagy hidrogránát adalékkal, jó hőrekuperációval,
- 50%-ot meghaladó hatásfokú kikeverés,
- kb. 1,5 timföld/t víz bepárlása korszerű bepárlókkal.

felhasználása 1 tonna timföld termeléséhez

Vill. energia		Egyéb		Össz.	Egyéb nélkül	Csakk hőenergia
kWó*	GJ	NaOH, GJ	CaO, GJ	GJ	GJ	GJ
218	2,3	3,8	0,23	24,0	20,0	17,7
227	2,5	3,3	0,14	21,4	18,0	15,5
110	1,2	5,4	0,04	26,9	21,5	20,3
212	2,3	4,1	0,18	23,6	19,3	17,0

* az a villamosenergia, mely nem az alacsonynyomású gőz termelése során képződik.

d) a körfolyamat állandó tisztítása intenzív sóleválasztással,

e) korszerű fluidizációs kalcinálás alkalmazása.

A magyar timföldgyárak jelenlegi energiafelhasználását a 3. táblázat mutatja be.

3.2.2 Jelenleg ismert legkorszerűbb berendezések energiafelhasználása

A bauxit törése-őrlése jelenleg kb. 0,14 GJ/t timföld villamosenergia felhasználást igényel. Differenciál hengeres törő és zártciklusú, esetleg kaszkád őrlőberendezés alkalmazásával ez az energiaigény 0,07 GJ/t-ra csökkenthető.

Csőfeltárás alkalmazásával 0,50 t/t nagynyomású gőzfajlagos csökkenés (30÷40%), ami 1,5 GJ/t energiának felel meg, és 0,02 GJ/t villamosenergia megtakarítás érhető el.

Korszerű fluidizációs kemencékkel elérhető fajlagos 3,1 GJ/t. Mivel az iparági timföld kalcinálását nagyrészt 4,4—4,6 GJ/t fajlagossal dolgozó forgó-kemencék végzik, a becsülhető megtakarítás 1,5 GJ/t-nak vehető.

Az ajkai új gyárrészben üzemelő bepárló berendezés 2,4 GJ/t fajlagossal dolgozik. A régi bepárlóknál ez az érték meghaladja az 5,0 GJ/t-t.

Nagy villamosenergia fogyasztást igényelnek a centrifugál zagyszivattyúk. A beépített teljesítmények 0,9—1,1 GJ/t nagyságúak. Az egyidejűség kb. 55%, ami megfelel 0,5—0,6 GJ/t tényleges fogyasztásnak. A szivattyúk 25%-a szabályozott. Szabályozott hajtások alkalmazásával minimálisan 50% villamosenergia takarítható meg. Az elérhető megtakarítás kb. 0,15 GJ/t.

A jelenlegi technológia mellett, a gépi berendezések korszerűsítésével minimálisan 0,19 GJ/t villamosenergia (25%) és 3,53 GJ/t hőenergia (20%) takarítható meg.

3.2.3 A timföldgyári technológia fő energiavesztesége típusonként

A nedvesüzemben felhasznált (gőz formájában bevitt) hőenergia különféle veszteségforrásainak megoszlását a 4. táblázat mutatja.

Az 5. táblázat a kalcinálásra fordított hőenergia elemzését foglalja össze.

4. táblázat

A nedvesüzemben felhasznált hőenergia veszteségforrásainak megoszlása

	GJ/t		
	Ajka	Almásfüzitő	Móvár
Összes gőzzel bevitt hőenergia	8,8	8,5	11,2
Nyersanyagokkal bevitt hőenergia	0,7	0,7	0,7
Feltárási reakcióhő	0,5	0,5	0,5
Felületi- és vizelcsepegési veszteség	4,5	3,4	4,9
Kondenzátor és hűtési veszteség	2,8	2,4	4,6
Nem közvetlen techn. célra haszn.	0,8	1,2	1,5
Hidráttal távozó hőenergia	0,1	0,1	0,1
Vörösiszappal távozó hőenergia	0,8	1,6	0,3
Összesen:	9,5	9,2	11,9

5. táblázat

A timföld kalcinálására fordított hőenergia megoszlása

	GJ/t		
	Ajka	Almásfüzitő	Móvár
Fűtőolajjal, illetve földgázzal bevitt hőenergia	4,5	4,6	5,1
Kalcináláshoz szükséges	2,6	2,6	2,6
Elkerülhetetlen veszteségek	0,5	0,5	0,5
Egyéb veszteségek	1,4	1,5	2,0

3.2.4 Az energiafelhasználás csökkentésére vonatkozó rövid, közép és hosszú távú javaslatok

Rövid távon elsősorban szervezési intézkedésekkel, a felújítási és karbantartási tevékenység fokozásával, valamint energiaracionalizálási intézkedésekkel lehet a veszteségeket csökkenteni. Ebbe a kategóriába tartozik:

- a 100 °C vagy az alatti vizek hőtartalmának jobb hasznosítása, pl. hőszivattyúk alkalmazásával,
- a gázalanító szelepek (feltárási expanziós edényeinél) gondosabb be-
szabályozása,
- a szigetetlen felületek szigetelése,
- a hőátadó felületek gyakoribb tisztítása,
- a kalcináló kemencék előregedett fokozatának cseréje,
- a körfolyamatba jutó ún. hamisvizek mennyiségének csökkentése,
- a gőz-, levegőszivárgási veszteségek csökkentése,
- a szabályozott villamoshajtások alkalmazása.

Rövid távon becsülhető hőenergia megtakarítások, iparági szinten: $1 \div 1,5$ GJ/t, a villamosenergia megtakarítás pedig $0,05 \div 0,07$ GJ/t értéknek vehető.

Közép és hosszabb távon oldhatók meg a nagyobb energiamegtakarítást eredményező intézkedések, melyek megtérülése jelenleg $5 \div 10$ év között van. Ilyenek:

- az optimális technológiához illeszkedő berendezés-kapacitások,
- korszerű kalcináló berendezések,
- korszerű bepárló állomások,
- új törő, őrlő berendezések beépítése.

Ezekkel elérhető becsült megtakarítások hőenergiában a jelenlegi állapothoz képest $6-6,5$ GJ/t.

Villamosenergiában: $0,32-0,36$ GJ/t, ami elsődleges energiahordozóban kifejezve $1,0-1,1$ GJ/t energiamegtakarítást jelent.

3.3 Kohászat

Az alumíniumelőállítás gyakorlatában kizárólag a Hall-Heroult eljárást alkalmazzák termelésre. A korszerű elektrolizáló kádak áramhatásfoka $85-92\%$, a feszültségvesztés azonban a kádakban az elméleti bomlásfeszültséghez képest ($\sim 1,2$ V) többszörös (jellemző értéke $\sim 4,5$ V). A nagy feszültségvesztést okozó tényezők:

- az elektrolitban bekövetkező feszültségcsökkenés (kb. $1,5$ V),
- az anódpolarizáció,
- az anódban és egyéb szerkezetekben keletkező feszültségcsökkenés.

Az eljárás gyakorlati energiahatásfoka emiatt csak $40 \div 45\%$.

Világszerte intenzív kutatómunka folyik az alumíniumkloridból kiinduló eljárás kifejlesztésére, és az alumíniumkohászat szakemberei az energiamegtakarítás szempontjából nagy reményt fűznek az ALCOA-típusú elektrolizáló kádak kifejlesztéséhez. Az eljárásban alapvetően más elektrokémiai reakciók játszódnak le az elektródokon; a legnagyobb energiamegtakarítást azonban a kis anód-katód távolság és a bipoláris elektródok alkalmazásának köszönhető ohmikus ellenállásesés kiküszöbölése adja. Az eljárással elérhető energiahatásfok ezért 80% . Az eljárás nagyüzemi kifejlesztése a Hall-Heroult eljárás $50,4$ GJ/t Al fajlagos villamos energiaigényéhez képest 36 GJ/t Al fajlagos energiaráfordítással oldja meg a fémelőállítás műveletét, ami közel 30% -os villamos energiamegtakarítást jelent.

A villamosenergia ára a múltban is és jelenleg is döntő hatással van az alumíniumkohászat szerkezeteire és eljárására.

A múltban területileg is jelentősen különbözött az alumíniumkohók által felhasznált villamosenergia ára. A 60-as években vízierőművek mellett a kohók $0,1 \div 0,2$ dollárcent körül kapták az energiát, ugyanakkor hőerőművek $0,4 \div 0,5$ centért adták. Akkor még nem voltak olyan villamosenergia-hálózatok,

amelyek alkalmasak lettek volna arra, hogy nagyobb távolságokra elszállítsák a villamosenergiát jobb ár elérése érdekében. A ma már elterjedten alkalmazott 400 és 750 kV-os távvezetékek alkalmasak a villamosenergia széleskörű nemzetközi kereskedelmére. Technikailag tökéletesen megoldott már a nagyfeszültségű kábelek tengerfenéken történő vezetése is. Így például az utóbbi időkben a rendkívül olcsón előállított norvég vízienergia nemcsak fém alakjában jut a nemzetközi kereskedelembe, hanem kábelen villamosenergia alakjában is jelentkezik az európai kontinens fejlett gazdaságában. Emiatt a norvég kohászat a vízienergiáért már otthon is a világpiaci árat kénytelen elviselni.

Korábban a viszonylagosan igen olcsó energia körzeteiben az alumíniumkohászat erősen terhelte árammal az elektrolizáló kádakat a nagyobb fémkihozatal érdekében. Általános volt a szénanódok 1 amper/cm² körüli terhelése. Az adott árviszonyok mellett ez adta a termelés gazdaságosságának optimumát. A drágább energia körzeteiben a 0,7–0,8 amper/cm² anódtermelés és a 0,4 amper/mm² körüli alumínium—sínterhelés volt a szokványos. A drágább energia ösztönzött az energiahatásfokot javító elektrolit-adalékok alkalmazására is (pl. lítiumsó alkalmazása).

Ma már egyre egységesebb az energiaár földrajzi megoszlásban, bár még mindig vannak különbségek. A zömében olajra épített japán ipar ezért kénytelen volt az elmúlt években több százezer tonnás kohókapacitást leállítani, mert az olajból előállított villamosenergia árát még a Nagoyaban levő Sumitomo kohó sem tudta elviselni, pedig 50,4 GJ egyenáramból állított elő egy tonna fémet önsülő anódos kádokban!

A mai villamosenergia ártrend rendkívüli fejlesztéseket követel meg az energiagazdálkodásban. Már 0,7 amper/cm² alá megy az anódterhelés és 0,3 amper/mm² körüli az alumíniumsínezés terhelése. A kád folyamatszabályozásának egyik fő törekvése a nagy kádakon belüli árameloszlás—egyenletesség fokozása. Jelenleg már 225 kA-es kádak nagy szériákban működnek olyan folyamatszabályozással, mely a kádon belüli egyes anódblokkok folyamatos szabályozásával biztosítja az árameloszlás egyenletességét, tehát az egyes anódok túlterhelésének elhárítását. Az árameloszlás ilyen egyenletessége optimális feszültségesést és áramhatásfokot eredményez, az anódok túlterhelésének az elhárítása pedig az üzemzavar valószínűségét csökkenti a minimumra.

A beruházási költségek, anyag- és energiaköltségek alakulása ma már legalább 100 ezer tonna évi kapacitású kohók létesítését indokolják. A gazdaságosság optimuma valahol 200 ezer tonna vagy a fölött lehet, ahol már kifizetődő a legfejlettebb folyamatszabályozási technika bevezetése.

Meglévő hazai alumíniumkohóinkban átlagosan 55,1 GJ egyenáramot használunk fel egy tonna fém leválasztásához. A szélső értékek az inotai 54,0 GJ és tatabányai 40 éves oldaltüskés kádak 56,9 GJ-ja. Korszerű új berendezésben 48,6 GJ/t lehet tervezni.

Meglevő kohóink szerkezeti fejlesztésében szerény lehetőségek vannak, elsősorban bizonyos áramvezető szelvények bővítése vonalán. Technológiában főleg a folyamatszabályozás bevezetése jelenthet fejlődést. A folyamatszabályozási berendezések piacán a mikroprocesszorok terjedése adhat erre gazdaságos lehetőséget. Meglevő kohóink fejlesztésének vizsgálatakor azt a változatot látjuk célszerűnek, hogy a meglevő épületen belül és meglevő segédberendezések figyelembevételével teljesen korszerű technológiával váltjuk fel a régit.

A teljes hulladékgazdálkodás szervezésében és a feldolgozási technológia fejlesztésében óriási energiaracionalizálási tartalékok vannak. Az öntődei salakok meleg feldolgozása jelent nagy megtakarítást a fémleégésben, az egyéb hulladékfeldolgozási technológiákban is korszerűbb és így eszközigényesebb eljárásokra célszerű áttérni. A hulladékból visszanyert alumínium ma már minőségben is versenyképes a kohófémmel és az előállítás energiaszükséglete mintegy $3 \div 15\%$ -a a primér fémének.

Egy újrafeldolgozási ciklust figyelembe véve jó hulladékgazdálkodás mellett 1 tonna fém energiatartalma mintegy 20% -kal csökkenthető. Ezért van igen nagy jelentősége a fémhulladékok szervezett begyűjtésének és korszerű módszerekkel történő feldolgozásának.

3.4 Félgyártmánygyártás

A félgyártmánygyártás energiaigénye függ az anyag minőségétől (az ötvözet típusától), a gyártási technológiától (hengerlés, sajtolás, kovácsolás, öntés stb.), a félgyártmány alakjától és méretétől.

A kihozatali százalékot is figyelembe véve 1 tonna ötvözött és ötvözetlen hengerelt, illetve sajtolt termék egyes technológiai fázisokra vonatkoztatott energiaigényét a 6. táblázat foglalja össze.

6. táblázat

A félgyártmánygyártás energiaigénye

Technológiai művelet	Hengerelt		Sajtolt	
	ötvözött	ötvözetlen	ötvözött	ötvözetlen
Olvasztás	1,58	1,32	1,58	1,32
Pihentetés	0,21	0,21	0,21	0,21
Homogenizálás	0,33	—	0,33	—
Tuskókészítés	0,18	0,03	0,18	0,03
Melegalakítás				
előmelegítés	0,34	0,34	0,42	0,42
alakítás	0,52	0,38	0,86	0,59
Hidegalakítás	0,87	0,68	—	—
Kikészítés (darabol, vág, egyenget)	0,06	0,06	0,06	0,05
Lágyítás (közbenső is)	1,44	1,44	1,44	1,44
Edzés	2,16	—	1,44	—
Megeresztés	0,83	—	—	—
Összes	8,52	4,46	6,52	4,06
Átlagos szilárdság N/mm ²	400	70	380	70

A táblázat is jól érzékelteti, hogy a folyamat összes energiaigénye sok részből tevődik össze és végeredményben is csak tört része az alumíniumkohászaténak.

A félgyártmányok előállításánál jelentős mennyiségű energia takarítható meg a folyamatos öntvehengerlő eljárások révén, de ezek megvalósítása elsősorban beruházás kérdése és előfeltétele, hogy a berendezések a megfelelő mennyiségű és minőségű fémot biztosító kohóban kerüljenek telepítésre. A Székesfehérvári Könnyűfém-mű jelenleg folyó beruházásainak keretében számos energiafelhasználást csökkentő intézkedés valósul meg, többek között az öntődei kemencék rekuperációjának megvalósítása, a kihozatali százalékok növelése a nagyobb tuskótömegek, valamint a kisebb veszteséget eredményező, jobb hőszigetelésű kemencék telepítése révén.

Technológiai szempontból energiamegtakarítást eredményezhet a direkt árammal végzett hőkezelés is, annak ellenére, hogy költséges energiafajtát kell alkalmazni, de a megvalósítás lehetőségei ma még erősen korlátozottak, jelenleg még csak huzalok esetében alkalmazzák ezt a módszert.

A legnagyobb energiatakarékosságot az átlagos szilárdság növelése, a kedvezőbb ötvözt-ötvözetlen alumínium arány kialakítása eredményezheti. Az ötvözetek előállítása valamivel nagyobb energiaráfordítást igényel, de ez a fém teljes energiaigényességét százalékosan csak kismértékben befolyásolja, ugyanakkor a felhasználás során óriási anyagtakarékosság érhető el.

A pótlólagosan bevitt 1 GJ/t energiával $12 \div 13$ GJ/t energia takarítható meg az ötvözt anyag részarányának növelésével. A célötvözetek szélesebb körű alkalmazásával, a korszerű, a nagyobb szilárdságú anyaghoz jobban illeszkedő technológiával a jelenlegi szinthez képest $5 \div 10\%$ -os anyagtakarítás biztonságosan elérhető, ami azt jelenti, hogy az adott feladatok $0,8 \div 1,5 \cdot 10^6$ GJ-lal kevesebb energiafelhasználással oldhatók meg éves szinten. Ez nagyságrendileg megegyezik azzal az energiamegtakarítással, amely a technológiai vonalon érhető el, de csak jelentős beruházások árán.

3.5 Alumíniumfelhasználás

Az alumíniumfelhasználás közül egyetlen példát emelnénk ki, azt amelyik az energiaátvitellel kapcsolatos.

Ma már egy-egy speciális esetet leszámítva a távvezetéseket alumíniumból készítik, mivel a jobb vezetőképességű réz használata esetén a létesítési költségek kb. duplájára növekszenek. Annak ellenére, hogy az azonos teljesítményátvitelhez szükséges mintegy kétszeres tömegű rézvezetékek kevesebb beépített energiát jelentenek, az energiaárak prognosztizált növekedése mellett sem valószínű a réz jelentős térhódítása, annak magasabb ára és a világban erősen korlátozott érckészletek miatt.

Az itthon jelenleg beépített 80 kt alumínium mellett az energiaátviteli veszteség igen jelentős, mert csúcsterhelésnél kb. 400 MW.

A csúcsterhelések idejét is figyelembe véve az átvitel energiavesztésege éves szinten $5 \cdot 10^8$ GJ, ami értékben kifejezve, kb. 1,7 milliárd forint. Évente 2500 t vezetékét építünk be. Ez átlag 12,5 MW-tal növeli a veszteségeket. Ha 20%-kal növeljük a keresztmetszeteket, akkor 2,5 MW erőművi beruházás takarítható meg. Ez jelenlegi árakon: 125 millió Ft megtakarítás erőművi beruházásoknál. Ezzel szemben az Al-költségnövekedés: 50 millió Ft. A számítások azt is mutatják, hogy az áramsűrűség csökkentése még a meglévő vezetékek keresztmetszetének növelése esetén is megtérülne. Ezt a kérdést részletesen meg kell vizsgálnunk a jövőben.

4. Rézkohászat

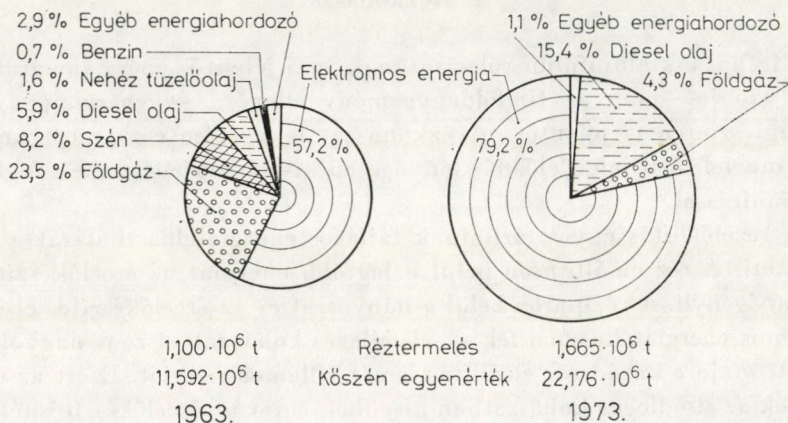
Míg hazánk alumíniumkohászatának — a jelentős energiamegtakarítást jelentő szovjet—magyar timföldegyezmény ellenére — energiaigénye népgazdasági szinten is jelentős, a rézkohászat fejlesztése csak most kezdődik. Ennek megfelelően jelen előadás lényegesen kisebb terjedelemben foglalkozik a rézelőállítással.

A rézelőállítás egyes fázisainak fajlagos energiafelhasználását a 4. ábra szemlélteti. A réz előállításán belül a legtöbb energiát az ércelőőkészítés és a kohászat igényli. A réziparon belül a bányászat és az ércelőőkészítés elsősorban elektromos energiát használ fel, az elsődleges kohászat viszont nagyobb részt földgázt, majd a katód réz előállítás ismét villamosenergiát. Ezért az energia-költségek az elsődleges kohászatban kisebbek, mint az ércelőőkészítésnél.

A réziparban az energiafelhasználás állandó, lassú növekedése figyelhető meg. Ezt az érc réztartalmának csökkenésével és a környezetvédelemmel magyarázzák. A statisztikai adatok szerint a kibányászott érc réztartalmának alsó határa a századfordulón 3,8% volt, 1974-ben pedig 0,4%. Ez a tendencia a távlatban is folytatódik. Az ezredfordulón már a 0,1%-os réztartalmú érc kitermelését is lehetségesnek tartják — ami természetesen a rézárak emelkedését fogja előidézni annak ellenére, hogy ezzel párhuzamosan megteremtik a gazdaságos termelés feltételeit a bányászatban és az ércelőőkészítésben. A bányászatban a külszíni fejtések térhódítása tapasztalható, ahol a fajlagos energia felhasználás 25—30%-kal kisebb, mint mélyművelésnél. A bányászatban tömegtermelési módszerekkel, a szállítás koncentrációjával, a termelékenység fokozásával csökkentik a folyamatos ráfordítást és az energiafelhasználást. Az ércelőőkészítés során a teljesítménynövelés figyelhető meg. Az iparban megjelentek a napi 60—80—100 ezer tonna kapacitású üzemek, sőt már 176 000 t/nap kapacitású üzemről is tudomásunk van. A berendezések méretét is megnövelték, \varnothing 6 m \times 8,4 m-es malmok, 10 m átmérőjű autogénmalmok és 28 m³-es flotáló cellákat építenek. Ma átlagosan 0,09 GJ/t érc energiafelhasználással számolnak, nagy kapacitásnál 0,04 GJ/t is elérhető.

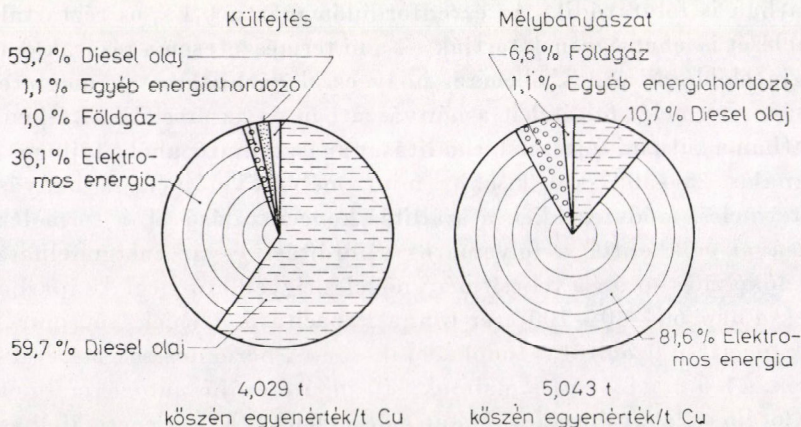
A kohósítás energiafelhasználása az alkalmazott technológia szerint változik. A modern eljárások kifejlesztésénél elsődleges törekvés az olvasztás során felszabaduló reakcióhő maximális hasznosítása volt. A kutatóknak olyan technológiákat sikerült kifejleszteni amelyek a minimális energiafelhasználással együtt a maximális környezetvédelmet biztosítják. Az Outokumpu eljárás energiamérlegét a 5. ábra szemlélteti. A Mitsubishi eljárás energiafelhasználását, összehasonlítva az Outokumpu és a lángkemencés eljárással a 7. táblázat mutatja be.

Az energiafelhasználás energiahordozónkénti megoszlása a bányászatban és az ércelőkészítésben. (USA)

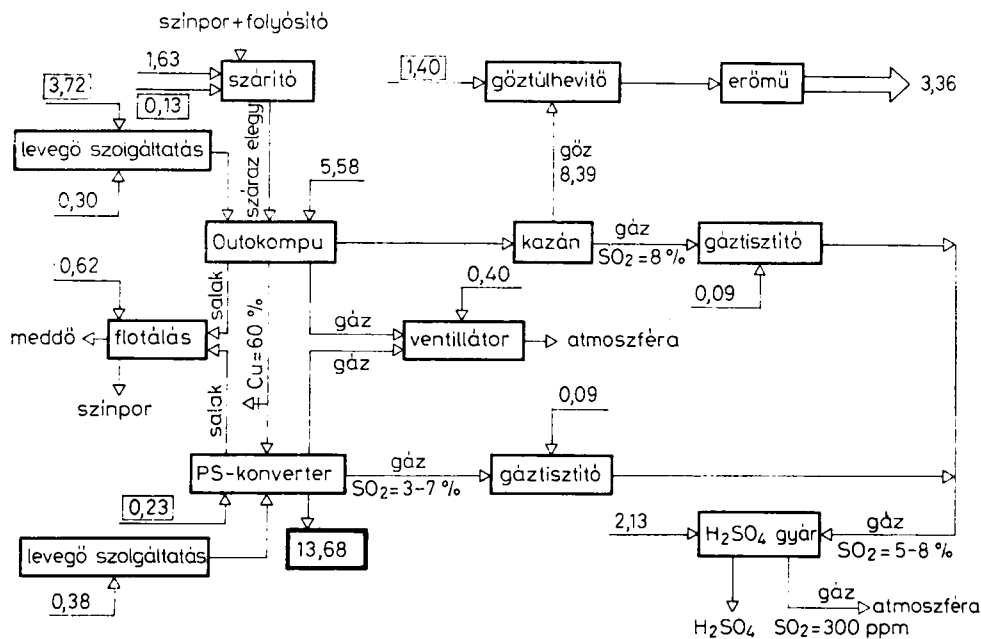


A fajlagos energiafelhasználás energiahordozónkénti megoszlása a bányászatban. (USA)

1973.



4. ábra



5. ábra. A finn rőptében olvasztó eljárás fajlagos energiamérleg (GJ/T)

A rézkohászati üzemek a gyártás során keletkező hulladékhő maximális hasznosítására rendezkednek be. A gázok hűtésénél termelt gőzzel villamosenergiát állítanak elő. Az elektrolízis technológiájában a 70-es évek elején az áramsűrűség növelésére törekedtek. Ekkor a fajlagos energiafelhasználás 15–20%-kal nőtt, ezért az utóbbi időben ez a próbálkozás nem talál követőre. Hasonló nehézségek elé néz a hidrometallurgia, mert ennél a rézkinyerés energia felhasználása kb. tízszerese a hagyományos elektrolízisének.

A rézérc feldolgozása során a komplex hasznosítás kerül előtérbe. A pirit hasznosítással kénsav és vasszivacs gyártás, molibdén, rénium, nemes és ritkafémek előállítása válik gyakorlattá.

A réziparban is állandó törekvés a hulladékok minél teljesebb visszanyerése. Ennek kettős célja van: anyag- és energiatakarékosság. Rézhulladékok esetében az USA-ban millió tonnás mennyiségű rézhasznosítás mellett 5–10 ezer tonnás mennyiségű ónt és egyéb fémeket is megtakarítanak. A hulladékból előállított réz energiaigénye pedig tizede a primér rézének.

A rézfélgyártmányok előállításánál is törekvés a technológia folyamatos tétel és az olvadt fém hőtartalmának hasznosítása. Ilyen eljárás a hazánkban is megvalósított „dip forming”, melynél a rézhuzal az olvadt fémen halad keresztül és eközben az olvadék rákristályosodik az alapfémre és ez a meleg anyag kerül az alakító hengerek közé. Az ismertetett módszer energetikai szempontból kedvező és rendkívül termelékeny.

7. táblázat

A Mitsubishi- és röptében olvasztó eljárás energiaigényének összehasonlítása a hagyományos technológiáéval

	Fajlagos energiafelhasználás		
	Mitsubishi	Röptében olvasztó	Lángkemence
<i>Elektromos energia MJ/t</i>			
Törés	4,50	17,28	1,66
Előkészítés	202,54	198,68	840,06
Olvasztás — konverterezés	1 879,24	1 742,80	465,88
Anódöntés	90,00	90,00	90,00
Oxigéngyár	976,50	—	—
Salakkezelés	—	261,72	355,18
Kénsavgyár	890,64	1 247,76	1 833,84
Véggázkezelés	109,44	616,75	627,48
Összesen:	4 152,86	4 174,99	4 213,87
Az elektromos energia előállításánál 33%-os hatásfokot figyelembe véve a felhasznált energia (MJ/t)	12 584,41	12 651,48	12 769,31
<i>Tüzelőolaj kg/t</i>			
Szárító	58,00	52,21	—
Előmelegítő	—	98,77	—
Olvasztó	62,51	165,10	426,30
Konverter	4,00	10,05	10,05
Anódkemence	23,00	23,00	23,00
Összesen	147,51	349,13	459,35
Petróleum	19,00	—	38,80
Propán-bután gáz	2,50	2,50	2,50

8. táblázat

A recski rézkombinát várható energiaköltségei

	Tervezett energia felhasználás 10 ⁶ GJ/év	Várható energiaköltség világpiacon (M\$/év)		
		1980	1985	1990
<i>Villamos energia</i>				
Bánya + ércelőkészítő	1,010	12,30	19,30	32,57
Kohó + elektrolízis	0,355	4,25	6,66	11,24
<i>Földgáz</i>				
Bánya + ércelőkészítő	0,178	0,51	1,02	2,04
Kohó + elektrolízis	0,854	2,45	4,90	9,80
Összesen:	2,397	19,51	31,88	55,65

A recski rézérc-előfordulás hasznosításánál nekünk is a legkevesebb energiát igénylő technológiákat kell választanunk, és ezzel együtt meg kell teremteni az országban keletkező rézhulladékok gazdaságos feldolgozásának feltételeit. Ennek lehetőségei adóttak.

5. Összefoglalás

Az egyre növekvő energiaárak előtérbe helyezik a technológiai folyamatok energetikai felülvizsgálatát, az energotechnológiát.

Az elérhető eredmények számbavételénél nemcsak az energiamegtakarítás értékét kell figyelembe venni, hanem arra is tekintettel kell lenni, hogy az energiaracionalizálás erőművi beruházásokat is feleslegessé tesz. Ezáltal szembeállítható az energiaracionalizáláshoz szükséges beruházások nagysága a szükségtelemmé váló erőművi kapacitások létrehozásának költségeivel.

Egy korszerű 100 000 tonna kapacitású alumíniumkohóval a jelenlegi hazai energiafelhasználáshoz képest $0,72 \cdot 10^6$ GJ takarítható meg évenként, ami a jelenlegi árszinten 0,24 milliárd forintnak felel meg és ugyanakkor feleslegessé tesz kb. 1,2 milliárd forint energetikai célú beruházást. Az alumínium-klorid eljárás megvalósítása a korszerű kohóhoz képest is további jelentős energiafelhasználás csökkentéssel járhat. A jelenleg üzemelő kohóinkhoz képest az évenkénti energiamegtakarítás — 100 000 tonna kapacitást feltételezve — 0,66 milliárd forintba becsülhető és az elhagyható energetikai beruházás pedig 3,3 milliárd forint. Mindez indokoltá teszi a halogénmetallurgiai eljárás intenzív kutatását.

Energiaelőállítás szempontjából nem jelent megtakarítást az alumínium-ötvözetek tulajdonságjavítása, de az adott feladat megoldásához kevesebb anyagra — és ezen keresztül — kevesebb energiára van szükség. Évi 5—10%-os anyagmegtakarítás a technológiai megtakarításokkal azonos nagyságrendű passzív energiamegtakarítást eredményez.

A rézkohászat esetében a helyzet annyival kedvezőbb, hogy lehetőségünk van az energetikai és gazdaságossági szempontból legkedvezőbb eljárás kiválasztására.

Remélhető, hogy az itt bemutatottak is alátámasztják azt, hogy a beruházások átlagánál lényegesen gazdaságosabb energiaracionalizálás ma még alig kihasznált lehetőségeink bő választéka azt igényli, hogy a jövőben energetikai beruházásainknak az eddiginél lényegesen nagyobb hányadát, összességében a többszörösét fordítsuk racionalizálásra a kapacitás, illetve az import bővítése helyett úgy, hogy közben az energetikára fordított fejlesztési és üzemeltetési költségekben közép- és hosszútávon összességében megtakarítást érjünk el.

Energetics and Trends in the Development of the Metallurgy of Aluminium and Coloured Metals. — The price of the coloured metals and their quantities or proportion in future use in dependence on their cost are largely influenced by the cost of the energy utilized for their production. In analyzing the cost of the energy used in the production also the specific energy significantly diverging of the energy carriers as well as the future changes in price conditions are to be taken into account. In developing the production technique one should endeavour to apply less expensive kinds of energy. The energy requirement in the production does not constitute in itself a limiting factor as to the amount of coloured metals to be used because, for example, the low specific weight and good conductivity assure a higher rate in power economy in the transport and in the electric industry, than the quantity of energy to be utilized for the production of aluminium. That is why one can rely upon a steady growth in the use of the aluminium. The production of copper is less power-intensive, wherefore, its growth in using may surpass that of the aluminium. However, limits in ore reserve may be a definitive factor. The processing of ever poorer ores rapidly increases the power intensity of coloured metal production.

Energiotechnologische Verhältnisse und Entwicklungstrends in der Metallurgie des Aluminiums und der Buntmetalle. — Der Preis und das damit zusammenhängende zukünftige Verbrauchsvolumen der Nichteisenmetalle, d. h., Verbrauchsproportionen derselben werden überwiegend durch die Kosten der zur Herstellung erforderlichen Energie determiniert. Bei der Analyse der Energiekosten sollten sowohl die zwischeneinander wesentlich unterschiedlichen spezifischen Energiewerte der Energieträger als auch die in der Zukunft zu bewertenden Änderungen in den Preisverhältnissen in Betracht genommen werden. In der Entwicklung der Produktionstechnologie soll man nach der Anwendung von billigeren Energiearten streben. Die Energieintensivität der Produktion bildet an sich selbst keinen Restriktionsfaktor im Verbrauch der einzelnen Nichteisenmetalle, da zum Beispiel, das Leichtgewicht und die günstige Leitfähigkeit des Aluminiums eine größere Energieersparnis im Verkehr und in der Elektrizitätsindustrie bilden als die zur Herstellung des Aluminiums erforderliche Energiemenge bedeutet. Deshalb kann man mit der beständigen Zunahme des Aluminiumverbrauchs rechnen. Die Herstellung des Kupfers erfordert weniger Energieverbrauch als die des Aluminiums der Verbrauch desselben zunehmen. Jedoch kann auch der Erzvorrat die Kupferproduktion entscheidend beeinflussen. Die Verarbeitung der fortwährend geringhaltigeren Erze erhöht die Energieintensität der Herstellung der Buntmetalle.

KORREFERÁTUM

ZÁMBÓ JÁNOS

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Jelen korreferátumom az alumíniumfelhasználás területéről kiragadott példa kapcsán a komplex energotechnológiai helyzetkép kialakításához óhajt hozzájárulni.

JUHÁSZ Ádám előadásában ismertetett adatokból indulva az 1. táblázat néhány szerkezeti anyag tömeg, illetve tulajdonságegységre vonatkoztatott adatait tartalmazza.* A táblázatból látható, hogy az alumíniumötvözetek előállítása nagy energiaigényű. Ennek ellenére számos olyan alkalmazási terület van, ahol az alumínium alkalmazása energetikai szempontból az egész üzemeltetési ciklust — és esetleg egy újrafeldolgozást is figyelembe véve — fel-

1. táblázat

A szerkezeti anyagok súly- és tulajdonságokra vetített fajlagos értékei

	szakító szil.	csavarási modulusz	fáradási szilárd.	sűrűség	fajlagos energia	fajlagos energiafelhasználás		
						szakító szil.	csavarási modulusza	kifáradási szilárd.
	MN/m ²	GN/m ²	MN/m ²	t/m ³	GJ/t	MJ/mMN	MJ/mMN	MJ/mMN
Öntöttvas	400	35	105	7,3	57,6	1 055	12,0	4 000
Lágyacél	250	77	193	7,85	57,6	1 800	5,87	2 340
Szerkezeti acél	800	77	495	7,83	57,6	565	5,87	910
Rozsdamentes acél	300	86	360	7,90	57,6	1 515	5,29	1 260
Nagyszilárds. acél	1200	86	680	7,90	57,6	380	5,29	670
Réz-cink ötvözet	400	37,3	140	8,36	59,4	1 240	13,32	3 550
Alumíniumötvözet	300	26	90	2,7	284,4	2 555	25,52	8 530
Magnéziumötvözet	190	17,5	95	1,7	414,0	3 705	40,21	7 410
Titánötvözet	960	45	310	4,51	558,0	2 630	55,91	8 120
Polipropilén	30	—	7,5	0,9	72,0	2 160	—	8 640
Propatén	35	—	7,5	0,9	72,0	1 855	—	8 640
Polietilén	13	—	3,3	0,92	54,0	3 825	—	15 290
Rigidex 2000	30	—	4	0,95	54,0	11 710	—	12 816
Nylon 66	80	—	20	1,36	180,0	3 060	—	12 240
PVC	50	—	12,5	1,40	72,0	2 015	—	88 064

* A korreferátumban a „Járműipari gyártmányok fejlesztése” című tématervtanulmányának az adatait használta fel, amelynek szerzői dr. GILLEMOT László és PRODÁN János.

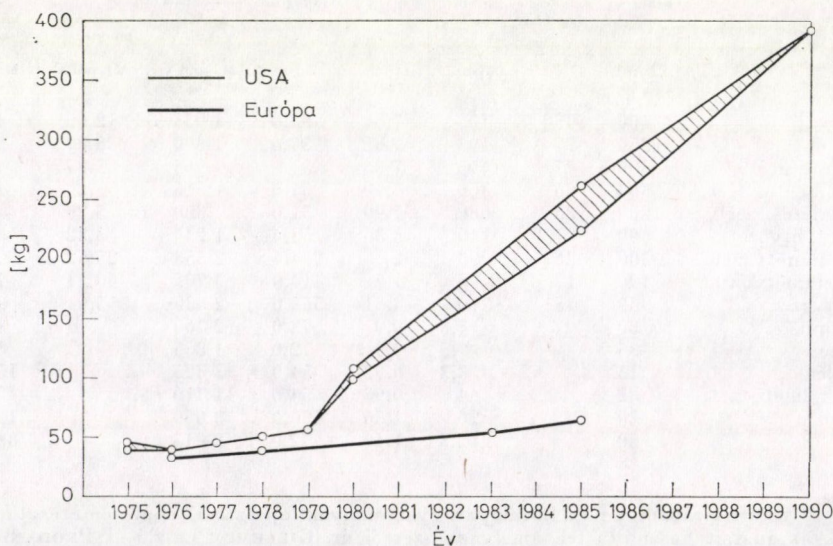
** Dr. Zámbo János, Alumíniumipari Tervező és Kutató Intézet, 1133 Budapest, Pozsonyi út 56.

tétlenül gazdaságos. Az alumínium kis tömege előnyös a közlekedésben, a szállításban és a gépiparban, ahol a tömegek gyakori gyorsítása és lassítása a megoldandó feladat természetéből következik. Jelen hozzászólás erre a lehetőségre óhajt rámutatni a közlekedés és ezen belül is a személygépkocsigyártás helyzetének vizsgálatával.

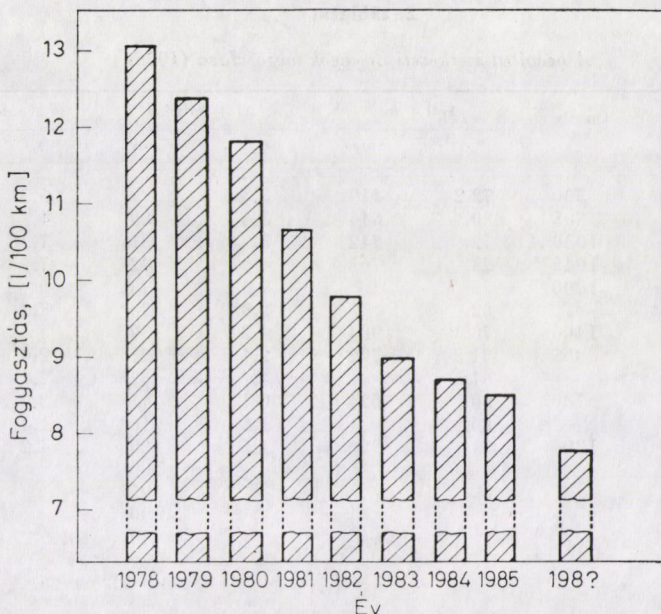
A számítások — a hazai személygépkocsigyártás hiánya miatt — világpiaci árbázison készültek. Az elmúlt időszak vizsgálatai kimutatták, hogy 1 kg alumínium beépítésével átlagosan 2—2,5 kg acél, illetve öntöttvas váltható ki. Az alumínium beépítése mind az előállítási költségeket, mind pedig a beépített energia mennyiségét növeli, ezzel szemben az önsúly csökkentése révén benzinmegtakarítást eredményez.

Ma úgy számolnak, hogy 100 kg tömegcsökkenés 100 km megtétele során 0,7 l benzinfogyasztás csökkenést eredményez. Egy-egy kocsi élettartamát a szakirodalom 4 évben, illetve 120 000 km-ben jelöli meg. A beépített energia, értékben kifejezve, az 1980-as világpiaci áron, alumínium esetében 26,12 Ft/kg, ugyanez öntöttvas esetében 4,1 Ft/kg. A megfelelő tömegarányok figyelembevételével közel 16 Ft értékű többletenergiával szemben a benzinmegtakarítás 146 Ft, azaz kb. kilencszeres. 1990-re — annak ellenére, hogy energiaegységben a megtakarítás nem változik — az értékben kifejezett arány mintegy 11,5—12-szeres lesz. A számított arányszám egyszeri hulladékfeldolgozást figyelembe véve kb. duplájára növekszik. Az alumíniumötvözet alkalmazása energetikai szempontból tehát rendkívül előnyös a közlekedési ágazatban.

A gazdaságosságot tekintve azonban kicsit más a helyzet. Az alumínium félgépjárművek árának 10—40, a készárukéénál pedig 5—20%-át teszi ki az



1. ábra. Személygépkocsik átlagos alumínium tartalma



2. ábra. Személygépkocsik átlagos üzemanyag-fogyasztása az USA-ban

energiaköltség. Az alumínium árnövelő hatásának az üzemanyagfogyasztással történő szembeállításakor az derül ki, hogy a többletráfordítások a kocsik 4 éves számított élettartama során térül meg körülbelül. Ez a vásárló számára túl hosszú idő, a megoldás akkor gazdaságos, ha a megtérülési idő kevesebb mint egy év. Ez az oka annak, hogy Európában relatíve lassú az alumíniumfelhasználás növekedése, mintegy évi 3,5 kg. Ugyanez az USA-ban 1985-ben kb. 15,5 kg, azt követően pedig ennek közel a duplája 29 kg lesz, amint azt az 1. ábra is érzékelteti. Az amerikai gyors növekedést egyértelműen egy sajátos energetikai probléma, a környezetvédelmi törvény előírásai indokolják. Ez a törvény előírja a maximális fogyasztás alakulását az évek függvényében (2. ábra). A megengedett fogyasztást csak a motorok hatásfokának javításával és az önsúly drasztikus csökkentésével lehet elérni. Az intenzív alumíniumfelhasználás a legutóbbi időkben kezdődött meg. Néhány autótípusra vonatkozó adatot a 2. táblázat ad meg.

Szembevetve, hogy a PORSCHE 928 típusú kocsik — sportos luxusváltozat — már 1976-ban is 150 kg alumínium felhasználásával készült.

Ma a világon 264 millió személygépkocsit tartanak nyilván és a szocialista tábor nem számítva 33,3 millió az éves termelés. 1980-ban kb. ez 1 millió t alumíniumfelhasználást jelent, ami a becslések szerint 1990-re eléri a 6 milliót-át. A becslések realitását alátámasztja, hogyha ma már alumíniumból is készített szerkezeti egységeket egyetlen kocsiba építenénk be, ez 500—600

2. táblázat

A beépített szerkezeti anyagok megoszlása (1976)

Típus	Önsúly kg	Acél + δv		Al + öntvény		Műanyag	
		%	súly	%	súly	%	súly
Fiat 126	580	72,2	419	3,3	19	6,7	39
Fiat 128	805	80,	644	3,6	89	4,	32
Fiat 131	1030	72,	742	3,	31	7,	72
Fiat 132	1045	73,	763	4,	42	7,	73
Alfa 2000	1000	—		7,8	78		
VW Passat	—	82,		2,8	28*	7,2	
Mercedes 6 heng.	1400	70,3	984	4,2	59	—	
Austin 1300	865	81,2	702	2,4	21	2,4	21
Peugeot 104	—	67,		4,	32*	7,	
Ford Escort	780	80,	624	0,1	1	3,9	30
Isuzu 1600	—	86,5		1,6	16*	1,4	
Volvo 144	1304	71,	926	1,5	20	4,2	55
Citroen CX GTI					100		
Peugeot 604					95		
Renault R30					90		
Mercedes 450					110		
Porsche 928					150		
Alfa Romeo							
Alphetta					80		
Chrysler 180					40		
VW Polo					36		
Renault 4					15		

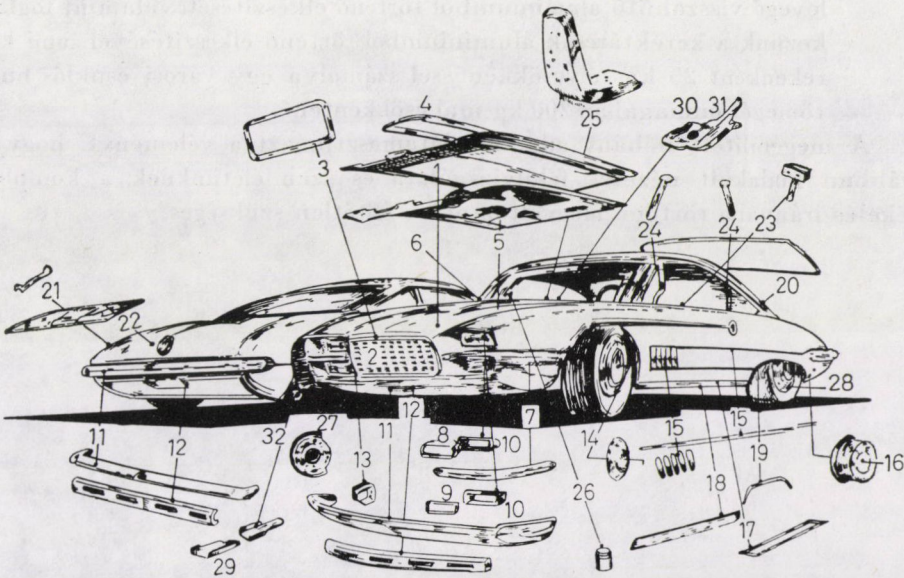
kg/gépkocsi értéket tenne ki, tehát a prognosztizált mennyiség a jelenleg is ismert lehetőség 60—70%-a.

Az alumínium alkalmazására mutat példát a 3. ábra, de irodalmi ismereteink szerint ennél 2—3-szor több alkatrész készülhet alumíniumból. Az alumínium gyártmányféleségeként való megoszlásának időbeli változását vizsgálva, leggyorsabb fejlődést az alumínium karosszérialemez mutatja, melynek kidolgozásával és alkalmazásával mind az alumínium-, mind pedig a személygépkocsi ipar nagy erővel foglalkozik.

3. táblázat

A személygépkocsikba átlagosan beépített alumínium várható mennyisége az USA-ban

	1975	1980	1985
Öntvény (kg)	25,8	30,4	93,6
Karosszéria lemez (kg)	0,4	26,3	115,7
Lökhárító és tartozéka (kg)	2,5	15,9	22,7
Egyéb (kg)	9,5	18,1	29,2
Összesen (kg)	38,2	90,7	261,2



3. ábra. Alumínium alkalmazása személygépkocsikban

1. Motorháztető; 2. Hűtőrács; 3. Hűtőrács keret; 4. Szellőző rács; 5. Belső merevítő; 6. Pánt-tartó; 7. Díszléc; 8. Fényszóró keret; 9. Ködlámpa keret; 10. Fényszóró betét; 11. Lökharító; 12. Lökharító merevítő; 13. Lökharító rögzítő; 14. Dísztárcsa; 15. Díszléc; 16. Keréktárcsa; 17. Küszöbtakaró; 18. Kőfelverődés gátló; 19. Díszléc; 20. Ablakkeret; 21. Hátsó világítás burkolat; 22. Csomagtér lemez; 23. Fejtámasz váz; 24. Belső kárpit burkoló léc; 25. Oldalsó takaróléc; 26. Klíma berendezés; 27. Porvédő tárcsa; 28. Fék dugattyú, fékhenger; 29. Konverter; 30. Karburátor túlfolyó tálca; 31. Akkumulátor tartó; 32. Kőfelverődés-gátló;

A jelenlegi szinthez képest 1990-ig évenként átlagosan 0,5 millió t-val fog növekedni a személygépkocsikba beépített alumínium. Ez pedig évi kb. 0,75—1 millió tonna benzinmegtakarítást eredményez. Az ilyen ütemű fejlődés, ami a személygépkocsik jelenlegi 5%-os alumíniumfelhasználási szintjét 1990-re kb. 3,5-szeresére, 17,5%-ra fogja emelni, igen komoly alumíniumipari és ezzel együtt energiaelőállítási fejlesztéseket követel meg.

Hazánkban a helyzet ettől annyiban tér el, hogy a személygépkocsik évi átlagos futásteljesítménye a világ átlagának csak mintegy harmada, átlagos életkoruk viszont hosszabb, ezért a megtérülés sokkal lassúbb, mégis a megfontolásokból számos, bennünket is érintő következtetés vonható le. Ezek közül megemlítendő, hogy

- a világgiacon várható alumíniumhiány hatását a magyar alumíniumipar helyzetére és fejlesztésére, valamint,
- a magyar autóbuszgyártás terén, különösen a városi forgalomban közlekedő gyakran gyorsuló és lassuló buszok tömegének csökkentését az alumínium szélesebbkörű alkalmazásával, a folyamatban levő fejlesztések közül kiemelem az ajtók, a fűtés-csatorna, a fék-

levegő visszahűtő alumíniumból történő elkészítését, valamint foglalkozunk a keréktárcsák alumíniumból történő elkészítésével, ami ke-
rekenként 25 kg súlycsökkenéssel számolva egy városi csuklós busz
tömegét önmagában 200 kg-mal csökkentené.

A megemlített néhány adat is alátámasztja azt a véleményt, hogy a
korábban kialakult nézetek felülvizsgálata és szemléletünknek a komplex
értékelés irányába történő megváltoztatása feltétlen szükséges.

A VASMETALLURGIA TECHNOLÓGIAI ÉS ENERGETIKAI HELYZETE*

FARKAS OTTÓ**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Bevezetés

Az acél kiemelkedő gazdasági, kulturális, sőt hadászati jelentőségét bizonyítja, hogy a világ acéltermelése 1900-óta — kisebb-nagyobb ingadozások, ill. megtorpanások mellett — évente átlagosan 4%-kal növekedett, és az elmúlt évben az eddigi legnagyobb évi termeléssel, elérte a 745,3 Mt-t. Ennek a termelési volumennek mintegy a felét a Szovjetunió — mint a világ 1971-óta legtöbb acélt termelő országa —, az Amerikai Egyesült Államok és Japán együttesen képviseli, ami arra utal, hogy a termelésfejlődés dinamikájában országonként, sőt földrészenként is jelentős eltérés mutatkozik. Ebből következően a jelenlegi 170 kg-os egy főre vonatkoztatott éves acéltermelés 0—13 232 kg-os országonkénti szórást rejt magában, jelezve az iparosodás mértékében, és az ezzel szoros kapcsolatban levő nemzeti jövedelem alakulásában a föld országaiban mutatkozó óriási különbségeket. Hazánk acéltermelése — mely az elmúlt évben 3,83 Mt volt — a világ acéltermelésében természetesen nem számottevő, hiszen alig haladja meg annak 0,5%-át. Az egy főre vonatkoztatott (jelenleg 364 kg-os) éves acéltermelésünk bár kedvezőbb képet mutat, minthogy ez 2,14-szerese a világon évente egy főre jutó acélmennyiségnek, de távol van a telítettséget jelentő 550 kg/fő évi termeléstől, és lemaradást mutat a KGST tagállamokon belül nemcsak a Szovjetunió 581 kg-os, hanem Csehszlovákia 992 kg-os, Lengyelország 554 kg-os, Románia 535 kg-os és a Német Demokratikus Köztársaság 409 kg-os egy főre vonatkoztatott múlt évi acéltermeléséhez képest.

A vasmetallurgia technológiai helyzete

A vasmetallurgia technológiai színvonala az elmúlt 25 évben sokat fejlődött. A még ma is funkcionáló technológiai eljárások korszerűsítése mellett a fejlődés legjellemzőbb tényezője az oxigénes konverteres acélgártás létre-

* Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának az 1980 évi közgyűlés keretében tartott tudományos ülésén elhangzott előadás.

** Prof. Dr. Farkas Ottó, PWME Miskolc, Egyetemváros, 3515.

hozása és annak rohamos térhódítása, az üstmetallurgia megjelenése, valamint a korszerű vasszivacsgyártás kidolgozása és nagyütemű elterjedése. Jelenleg a világ acéltermelésének gyakorlatilag teljes mennyiségét négy technológiai útvonalban állítják elő, melyek sematikus képe az 1. ábrán látható. A bemutatott vázlat nem tartalmazza a vasérc dúsításának — általában nem a vasmetallurgia tevékenységi körébe tartozó — folyamatát, de érdemes megjegyezni, hogy a nagyolvasztók teljesítményének növelése, a szállítási költségek csökkentése és nem utolsósorban a fajlagos kokszfogyasztás csökkentése érdekében napjainkban a világon felhasznált vasércmennyiség nagyobb hányadát dúsítják, és ez a művelet az 50%-nál kevesebb vasat tartalmazó nyersércek esetében ma már gazdaságos.

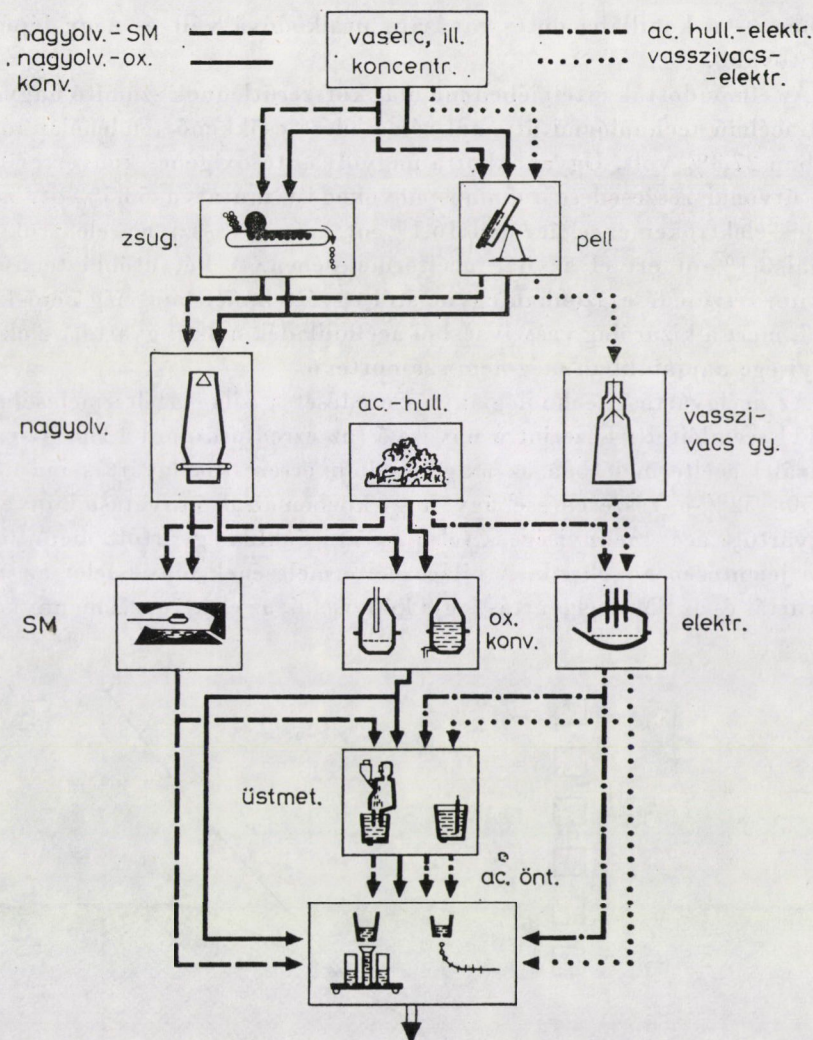
A vasércdarabosító eljárások két uralkodó típusa — a Dwight—Lloyd-rendszerű zsugorító pörkölés és a pelletezés — közül, a dúsítási műveletek egyre nagyobb mértékű megjelenése, az utóbbi eljárás részesedésének növekedését igényli, s egyben magyarázza. Korszerű pelletező berendezések teljesítménye — a gépek típusától és az ércminőségtől függően 25—40 t/m² naponta, míg a zsugorítóművek napi teljesítménye eléri az 50 t/m²-t, egy zsugorító szalag évi termelése pedig 8 Mt-t. Méreteik számottevő növekedése már nem várható.

A nagyolvasztók méretei is közelednek a technológiailag lehetséges felső határhoz. Ma már üzemben vannak olyan nagyolvasztók, melyek 15 m-es medenceátmérővel, 5000 m³; hasznos térfogattal rendelkeznek, és naponta 12 000 t nyersvas előállítására képesek. A Szovjetunióban jelenleg tervezik a világ ezidőszert legnagyobbat, 5600 m³-es nagyolvasztóját.

Az ipari méretű vasszivacsgyártás kezdete 1965-re tehető, s a viszonylag kis (évi 500 000 t) termelőegységek, valamint az ércekkel szemben támasztott igen szigorú követelmények ellenére, a vasszivacstermelés fejlődési üteme — kis beruházási költsége és munkaigénye következtében — megelőzte a nyersvas- és az acéltermelés ütemét. Jelenleg a világ évi vasszivacstermelése 20 Mt, s fejlődési ütemét tekintve megalapozza az elektroacélgyártás további előretörését. 2000-re az évi vasszivacstermelés 100 Mt-ra becsülhető.

A messzemenően korszerűsített, oxigénnel intenzifikált, automatizált és megnagyobbított SM-kemencék — a maximálisan 50 t/h teljesítményük és nagy energiafogyasztásuk következtében — sem vehetik fel a versenyt az oxigénes konverteres acélgyártással, s ennek következtében az SM-acélgyártás részesedése a világ acéltermelésében rohamosan csökken.

Az oxigénes konverteres acélgyártás ugyanakkor gyors fejlődést mutat, amit a konverterek nagy termelékenysége, kis energiafogyasztása indokol. Ma már működnek 400 t befogadóképességű, 600 t/h teljesítményű felsőfúvatású oxigénes konverterek, melyek évente több mint 2 Mt acélt képesek előállítani. Az alsó fúvatású oxigénes konverteres acélgyártás elterjedése is fokozódik mindenek előtt kisebb beruházási költsége következtében. Ma már 375 t/h teljesítményű alsó fúvatású konvertereket is építenek.



1. ábra. Vasmetallurgiai technológiák sémái

Az elektroacélgyártás — az esetenként 65 t/h termelőképességű UHP-kemencék kifejlesztésével egyre jelentősebb helyet foglal el a világ acéltermelésében. A vasszivacsstermelés növekedése felszabadítja az elektroacélgyártást a rendelkezésre álló acélhulladék által megszabott korlátok alól.

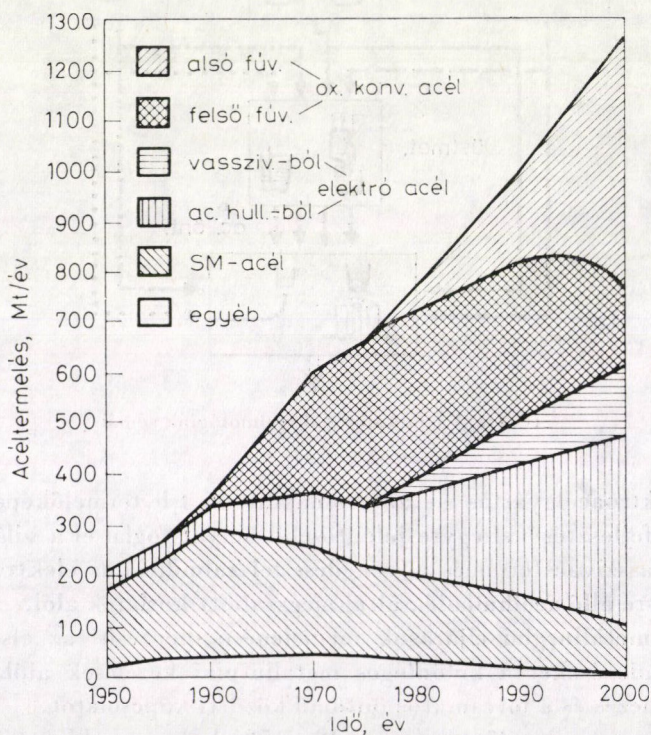
Az üstmetallurgiai eljárások megjelenése mentesíti az elsődleges acélgyártó berendezéseket a különleges metallurgiai kezelések alól és javítja a primérberendezés és a folyamatos öntőmű közötti kapcsolatot.

A folyamatos acélöntés — a 12–15%-kal nagyobb acélkihozatal, a lényegesen kisebb munkaerőigény, és a jelentős energiamegtakarítás követ-

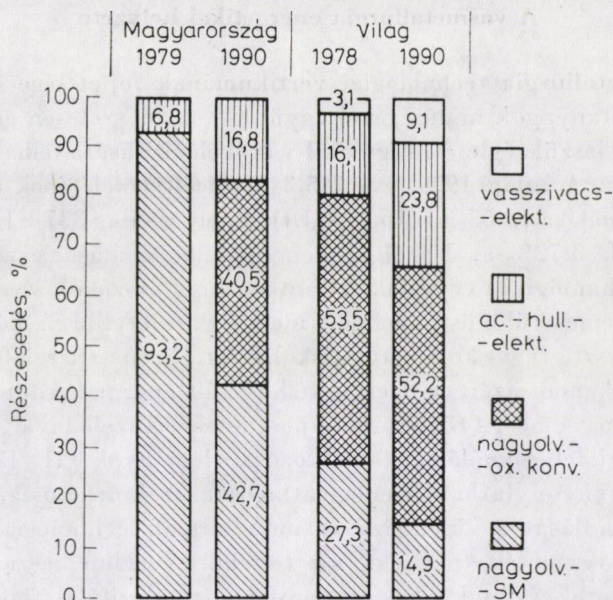
keztében — a kokillába öntés rovására uralkodóvá vált és nagy lépésekben terjed tovább.

Az elmondottak értelmében ma már korszerűtlennek számító nagyolvasztó-SM-acélmű technológiai útvonal részesedése csökkenő tendenciát mutat, s 1978-ban 27,3% volt. Ugyanakkor a nagyolvasztó-oxigén konverter technológiai útvonal részesedése rohamos növekedést mutatva 53,5%-ot, az acélhulladék-elektrokemence útvonal 16,1%-ot, míg a vasszivacs-elektrokemence útvonal 3,1%-ot ért el a világ acéltermelésében. A két utóbbi technológiai vertikum részesedése azonban egymástól egyértelműen ma még nem különíthető el, mert a kizárólag vasszivacsból acélhulladék nélkül gyártott elektroacél mennyisége napjainkban még nem számottevő.

Az acélglyártási technológiák részesedését a világ acéltermelésében a 2. ábra [1] szemlélteti. Eszerint a növekvő (az ezredfordulóra 1250 Mt-ra prognosztizált) acéltermelésben az oxigén konverteres acélglyártás marad uralkodó 50 – 52%-os részesedéssel úgy, hogy közben az alsó fuvatású konverterekben gyártott acél mennyisége a felső fuvatásúakban gyártott mennyiség rovására jelentősen növekszik. A világ acéltermelésének másik felét az elektroacélglyártás és az SM-acélglyártás fogja képviselni, az elektroacél mennyiségének



2. ábra. A világ acéltermelésének megoszlása előállítási technológiák szerint az idő függvényében



3. ábra. Vasmetallurgiai technológiák %-os részesedése az acéltermelésben

és részesedésének nagymértékű növekedése, s az SM-acél ezzel arányos mennyiségi és részesedési csökkenése mellett. 2000-ig, a gyakorlatban jelentős, alapvetően új vasmetallurgiai technológiával nem számolhatunk.

Hazánk vasmetallurgiai vertikumának technológiai szerkezete — mindenek előtt az acélmetallurgiai fázist tekintve — ma még jelentős elmaradást mutat a világhelyzethez képest. Pillanatnyilag oxigénes konverteres acélgéártással nem rendelkezünk, s így az acélgyártás teljes mennyiségét — amint azt a 3. ábra szemlélteti — SM-acélgéártással dolgozzuk fel acéllá, s ez összacéltermelésünk 93,2%-át képviseli.

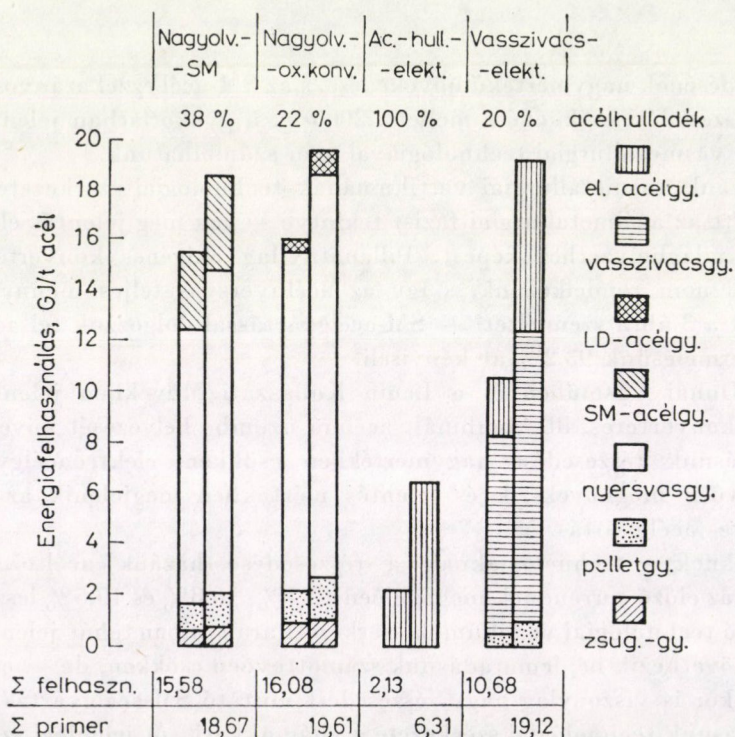
A Dunai Vasműben és a Lenin Kohászati Művekben jelenleg épülő oxigénes konverteres, ill. kombinált acélmű üzembe helyezését követően SM-acélgéártásunk részesedése nagymértékben csökken, elektroacélgéártásunk számottevően megnövekszik és jelentős mértékben megjelenik az oxigénes konverteres acélgéártás.

Ezeknek a technológiáknak a részesedése hazánk acéltermelésében 1990-ben az előző sorrendnek megfelelően 42,7%, 16,8% és 40,5% lesz. A hazai acélgéártó technológiai vertikumok szerkezeti arányaiban tehát jelentős előrehaladás következik be, lemaradásunk számottevően csökken, de — elsősorban a még akkor is viszonylag nagy részesedést mutató SM-acélgéártás miatt — acélgéártásunk technológiai szerkezete a világ akkori, sőt jelenlegi színvonalához képest 1990-ben sem lesz korszerűnek mondható.

A vasmetallurgia energetikai helyzete

A vasmetallurgia technológiai vertikumának fejlettsége — a rendelkezésre álló betétanyagok minőségével együtt — természetesen meghatározza a folyamat energiaszükségletét, s így az 1 t acél előállítására felhasznált energiamennyiséget is. A világ 1979. évi 745,3 Mt acéltermelésének összes primerenergiafelhasználása 12,55 EJ (16,84 GJ/t), amely a világ 337 EJ primerenergia fogyasztásának 3,72%-a. Ennek az energiafelhasználásnak az alakulása a különböző technológiai útvonalak szerint — s így országok szerint is — nemcsak azért érdemel különös figyelmet, mert a vasmetallurgia közismerten sok energiát fogyaszt, (egy komplett vaskohászati üzem energiafogyasztásának $65 \div 70\%$ -át), hanem azért is, mert a felhasznált energiahordozók zöme egyre növekvő értékű, nemes, s többnyire import forrású tüzelőanyag.

Az energiafelhasználással foglalkozó közlemények [2]—[7] figyelembevételével világviszonylatban jelenleg átlagosnak tekinthető fajlagos energiafogyasztás alakulását a különböző vasmetallurgiai technológiákra vonatkoztatva a 4. ábra szemlélteti. Ezek, és a további energiafelhasználási adatok a nagyolvasztó torokgázának teljes hasznosítását tételezik fel, figyelembe veszik



4. ábra. Vasmetallurgiai technológiák energiafelhasználása, GJ/t acél

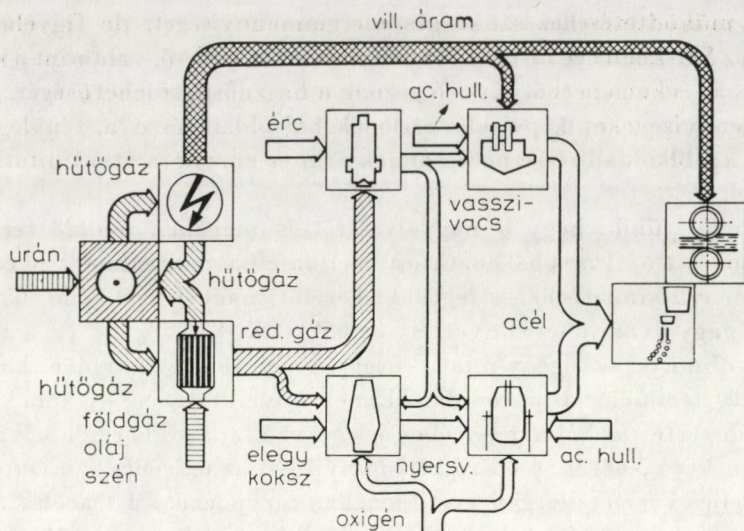
az üzem működtetéséhez szükséges energiamennyiséget, de figyelmen kívül hagyják az SM-kemence füstgázának regenerátort követő, valamint a konverter gáznak és az ívkemencéből távozó gáznak a hasznosítási lehetőségét. Az ábrán energiamennyiségeket képviselő oszlopok bal oldali része a ténylegesen felhasznált, a jobb oldali része pedig annak primer energiára átszámított értékeit tünteti fel.

Szembe tűnik, hogy a nagyolvasztót is magában foglaló technológiai vertikumok 1 t acélra vonatkoztatott energiafelhasználásában a nyersvas előállítása igényli kimagaslóan a legtöbb energiát (nagyolvasztó-SM: 68,87%, ill. 68,61%; nagyolvasztó-ox.konverter: 84,02%, ill. 82,20%), s ez a részesedés — a nagyobb nyersvasigény miatt — lényegesen több az oxigénes konverteres acélgyártás technológiai útvonálán. Ennek következtében — annak ellenére, hogy a konverter az SM-kemencében jelentkező fajlagos energiafogyasztásnak csak töredékét (7-ed, ill. 4-ed részét) igényli —, az oxigénes konverteres acélgyártás teljes vasmetallurgiai vertikumában megjelenő, s 1 t acélra vonatkoztatott energiafogyasztás — ha csekély mértékben is, de — általában nagyobb, mint a nagyolvasztó-SM-acélgyártás technológiai útvonál fajlagos energiafogyasztása. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy az oxigénes konverteres acélgyártás — az SM-acélgyártáshoz képest — lényegesen kevesebb acélhulladékot használ fel azonos acélmennyiség előállítására, s ezzel lehetővé teszi a legkisebb energiaigényű elektroacélgyártás növelését, azaz az adott ország teljes acéltermelésére vonatkoztatott fajlagos energiafogyasztás csökkenését.

Jól látható ugyanis, hogy az acélhulladékból gyártott elektroacél igényli a legkevesebb energiát, ami természetesen abból fakad, hogy az ércelőkészítés és a nyersvasgyártás kimarad ebből a technológiai folyamatból. Az energiaárak gyors növekedése miatt tehát egyre szükségesebbé válik, hogy a lehető legtöbb acélhulladék felhasználása érdekében, a gyenge minőségű acélhulladékok előkészítésére szolgáló módszereket tökéletesítsék, illetve a jelenleg még gazdaságosan fel nem használható acélhulladékok előkészítésére eljárásokat dolgozzanak ki.

A vasszivacs felhasználásával történő elektroacélgyártás energiafogyasztása a vasszivacs-előállítás és a hozzátartozó pelletezés energiaszükségletével növekszik. Ha az értékeket primer energiában vizsgáljuk, ennek a technológiai folyamatnak a fajlagos energiafelhasználása gyakorlatilag megegyezik a nagyolvasztó-SM, ill. a nagyolvasztó-ox.konverter technológiai folyamat energiafogyasztásával.

A ténylegesen felhasznált energiamennyiség szem előtt tartásával a vasszivacs-elektroacél technológiai út sokkal kedvezőbb. Ezen belül a vasszivacsgyártás energiaigénye kisebb mint a nyersvasgyártásé, de figyelembe kell venni, hogy a vasszivacs sokkal jobb vasércet igényel, s a kapott termék nem folyékony, hanem szilárd állapotban jelenik meg.



5. ábra. Atomenergia felhasználása a vasmetallurgiában

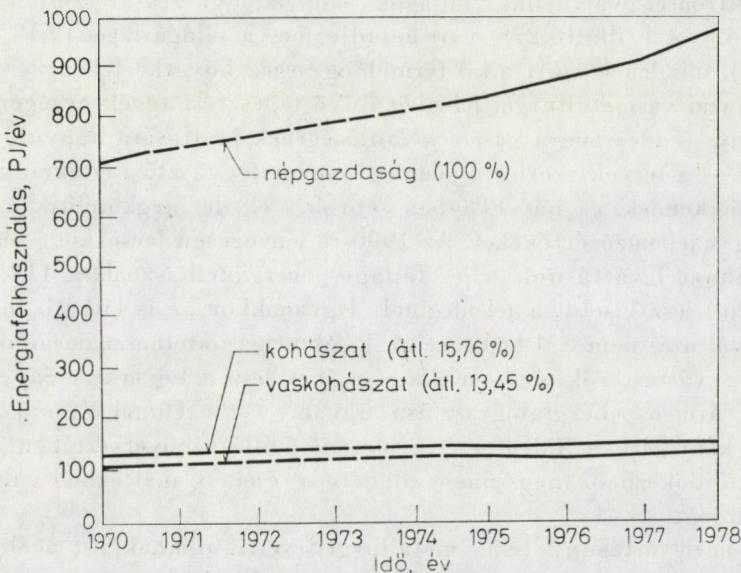
A villamos-energiaelőállítás jelenlegi rossz hatásfokának (32%) javítása jelentősen csökkentené a folyamat energiaigényét. Továbbá, ha rendelkezésre állna olyan eljárás a vasszivacs megolvasztására, melyben a hőt nem kell villamos energiává, majd ismét hővé alakítani, az összes energiafogyasztás lényegesen kevesebb lenne.

Az atomerőművekből származó energia mennyiségének állandó növekedése valószínűleg a jövőben elősegíti az elektrokemencéken keresztül vezet technológiai vertikumok fejlődését. Atomenergia felhasználásával működő vasmetallurgiai kombinát lehetséges sematikus képét szemlélteti az 5. ábra [8]. Látható, hogy a nagyhőmérsékletű reaktorból származó folyamathő nemcsak a villamos energia előállításának céljait szolgálja, hanem egy része közvetlenül felhasználható a vasszivacsgyártáshoz, sőt a nyersvasgyártáshoz szükséges redukálógáz szénhidrogénekből vagy szénből történő előállítási hőszükségletének biztosítására.

Ahhoz azonban, hogy az atomenergia jelentős helyet foglaljon el a vasmetallurgiában, arra volna szükség, hogy a jelenlegi atomerőmű-rendszereket — melyek az ércben levő hasadóképes anyagoknak csak mintegy 0,75%-át hasznosítják —, ún. szaporító reaktortípusok váltsák fel, amelyek anyaghasznosítása várhatóan 50–70%. Az ilyen reaktorok kifejlesztése azonban ma még nem tekinthető minden szempontból megoldottnak, s így legkorábban 1990–1995-ben születhetnek versenyképes szaporító reaktortípusok. Ebből következően atomreaktorokból származó hő- és villamos energia felhasználása 2005-ig nem lesz jelentős és valószínűleg csak 2025-ben válik gazdaságossá a vasmetallurgiában.

A hidrogén, a napenergia, a geotermikus energia a vasmetallurgia számára 2005-ig szintén kis jelentőségű lesz. A 2005-ig várható energiamegtakarítás nagyobb része a tökéletesebb betétanyagelőkészítésből, az elavult berendezések kiváltásából, a hulladék nagyobb mértékű hasznosításából, kisebb része pedig az eljárások tökéletesítéséből fog származni. Ezekből eredően 2005-ben a várható energiafogyasztás a nagyolvasztó-ox.konverter technológiai vertikumban a jelenleginek 85%-a, az acélhulladék-elektroacél gyártási folyamatban a jelenleginek 84%-a, míg a vasszivacselektroacél technológiai útvonalon a jelenleginek 76%-a lesz [9].

Hazánk közismerten a korlátozott energiakészletekkel rendelkező országok sorába tartozik, így a hazai vasmetallurgiai fázis energiafogyasztásának alakulása természetesen megkülönböztetett figyelmet igényel. Az 1 főre vonatkoztatott, biztosított fosszilis energiahordozó készletünk (3,3 TJ) csupán 54,1%-a a föld egészére vonatkoztatott ugyanezen értelmű energiamennyiségnek (6,1 TJ), melyen belül 2,8 TJ a szén, 0,1 TJ a kőolaj és 0,4 TJ a földgáz által képviselt, 1 főre jutó energiakészletünk [10]. Az ennek következtében gyengén közepesnek minősíthető energiaellátottságunk — nem beszélve a minőségi hiányokról (pl. a kokszolható szénkészlet csekély mennyisége) — az energia importjának növekedését vonta maga után, melynek részesedése az energiaszükségletünkben jelenleg 55% (ezen belül kb. 70% szénhidrogén, 20% szilárd energiahordozó és 10% villamos energia). Vaskohászatunk energiafelhasználásának import hányada ettől lényegesen nagyobb.



6. ábra. A magyar népgazdaság, a kohászat és a vaskohászat energiafelhasználásának változása az idő függvényében

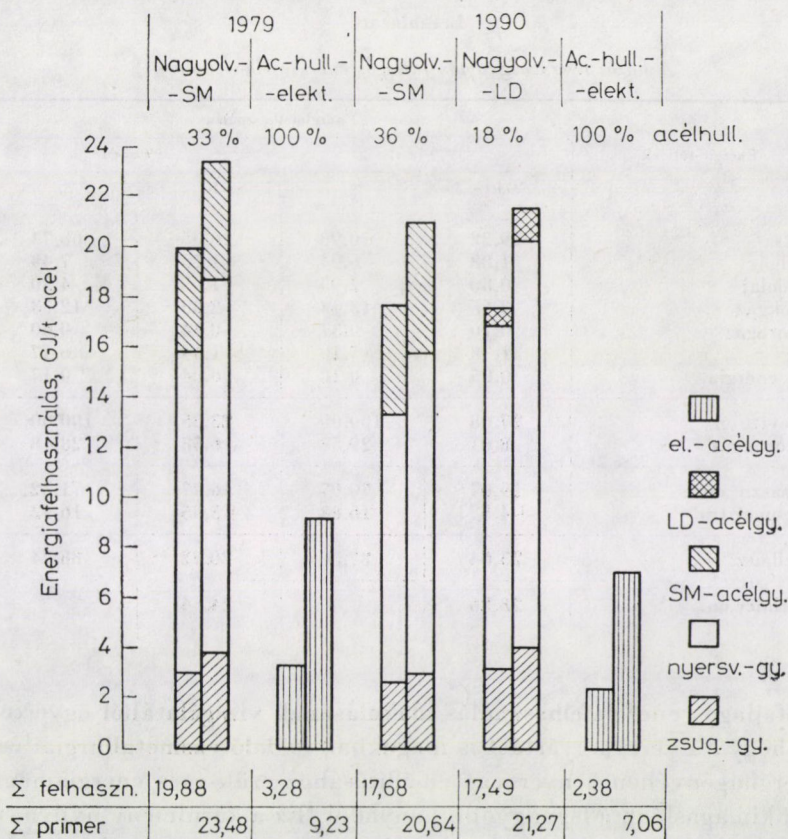
A népgazdaság saját forrásból és importból származó, közvetlen felhasználásra kerülő energiamennyiségének és ezen belül a kohászat, valamint a vaskohászat energiafelhasználásának az elmúlt évtizedben történő változását a 6. ábra mutatja. Látható, hogy a népgazdaságban 1978-ban felhasznált 970,45 PJ energiából a kohászat 144,15 PJ-t, vagyis 14,85%-ot, a vaskohászat pedig 122,22 PJ-t, azaz 12,59%-ot fogyasztott el. Vaskohászatunk részesedése az ország energiafogyasztásában — folyamatos csökkenése ellenére — nagy. Az NSZK acélipara például 9,2%-át használta fel az ország energiafogyasztásának 1979-ben annak ellenére, hogy az 1 főre vonatkoztatott acéltermelés is sokkal több, mint hazánkban. A vizsgált időszak átlagában kifejezve az országos összenergiafogyasztásnak számottevő részét, vagyis 15,76%-át a kohászat, s csak valamivel kevesebbet 13,45%-át a vaskohászat használta fel, melyből vaskohászatunknak az egész kohászati iparunk energiafogyasztásában mutatott igen nagy (85,34%-os) részesedése is megnyilvánul.

Vasmetallurgiánk — előzőekben vázolt — technológiai helyzete, valamint nyersvasgyártásunk rendkívül rossz betétanyagai, a metallurgiai vertikum nagy fajlagos energiafelhasználásában is megjelenik. A 7. ábra technológiai útvonalanként ábrázolja az 1 t acélra vonatkoztatott energiafogyasztást az elmúlt évre és várhatóan 1990-re érvényesen. Ebből kiderül, hogy SM-acélgyártásunk a teljes metallurgiai vertikumban jelenleg 19,88 GJ-t (primer energiában 23,48 GJ-t) fogyaszt 1 t acél előállításához, vagyis 27,6%-kal (primer energiában 25,76%-kal) többet, mint a világátlagnak tekinthető 15,85 GJ (ill. 18,67 GJ).

Elektroacél-gyártásunk fajlagos energiafogyasztása szintén nagyon nagy, s 54,0%-kal (ill. 46,27%-kal) haladja meg a világátlagot (2,13 GJ/t, ill. 6,31 GJ/t), mindenek előtt a kis termelőegységek következtében.

A hazai vasmetallurgia jelenleg folyó fejlesztési tevékenységének eredményeként, — ideértve a vasérc minőségének javítására irányuló erőfeszítéseket is — a tervek szerint a jelenlegi energiafogyasztási értékeink számottevően csökkennek, és bár 1990-ben sem érik el, de megközelítik a jelenlegi világátlagra jellemző értékeket. Az 1990-re lényegesen lecsökkent részesedést mutató SM-acélgyártásunk teljes fajlagos energiafelhasználása 11%-kal (ill. 11,24%-kal) lesz kisebb a jelenleginél. Ugyanakkor az is látható, hogy ez a kedvező változás nem SM-kemencéink kisebb energiafelhasználásának, hanem a nyersvasgyártás csökkenő energiaigényének lesz a következménye. SM-kemencéink átlagos energiafogyasztása ugyanis — a Dunai Vasmű SM-acélművének kényszerűen hideg betétre történő átállása következtében, a csepeli SM-acélmű időközbeni megszűnése ellenére — csekély mértékben valószínűleg növekedni fog.

LD-acélgyártásunk teljes metallurgiai vertikumának 1 t acélra vonatkoztatott energiafelhasználása — a konverter sokkal kisebb, lényegében csak oxigénfogyasztásra korlátozódó energiaigénye, s a nagyobb fajlagos nyers-



7. ábra. Hazai vasmetallurgiai technológiák energiafelhasználása, GJ/t acél

vasigény miatt megnövekvő energiaszükséglet eredőjeként — gyakorlatilag meg fog egyezni, az SM-acélgyártás teljes fajlagos energiafelhasználásával. Ugyanakkor szem előtt kell tartani, hogy az oxigénes konverteres acélgyártás — az SM-acélgyártáshoz képest — lényegesen kisebb fajlagos acélhulladék-fogyasztása következtében közvetve elősegíti a legkisebb energiaigényű elektroacélgyártás kapacitásának bővítését, s ezzel a hazai összes acéltermelés fajlagos energiafelhasználásának csökkenését. De természetesen lehetőséget ad az SM-kemencék nagyobb arányú acélhulladékfelhasználására is.

A még akkor is túlságosan sok energiát fogyasztó nyersvasgyártásunk következtében LD-acélgyártásunk teljes metallurgiai vertikumának fajlagos energiafelhasználása még 1990-ben is 9,95%-kal lesz nagyobb, mint a jelenlegi világátlag.

Elektroacél-gyártásunk fajlagos energiaszükségletének csökkenése alapvetően ívkemence-parkunk korszerűsítésével, bővítésével, s részben az üst-metallurgia megjelenésével lesz kapcsolatos.

1. táblázat

A hazai nyersvasgyártás fajlagos energiafelhasználása

Energia-tételek	Energiafelhasználás			
	1979-ben		1990-ben	
	GJ/t	%	GJ/t	%
Koksz	19,22	70,98	16,05	68,74
Földgáz	1,88	6,94	1,75	7,49
Fűtőolaj	0,80	2,95	1,05	4,50
Torokgáz	3,65	13,48	2,88	12,33
Kamragáz	0,10	0,37	0,14	0,60
Gőz	1,38	5,10	1,44	6,17
Vill. energia	0,05	0,18	0,04	0,17
Σ bevitt en.	27,08	100,00	23,35	100,00
– torokgáz	–8,01	29,58	–6,58	28,18
Felhaszn. en.	19,07	70,07	16,77	71,82
+ zsugoritm.	+4,57	16,88	+3,95	16,92
Σ felhaszn. en.	23,64	87,30	20,72	88,74
Σ primer en.	28,26	—	24,54	—

A fajlagos energiafelhasználás alakulásának vizsgálatából egyértelműen kiderül, hogy a nyersvasgyártást is magukban foglaló vasmetallurgiai vertikumok energiaigényében a nyersvas előállításához szükséges energiamennyiség képviseli kimagaslóan a legnagyobb hányadot. Ez a körülmény nyilvánvalóan és egyértelműen arra utal, hogy az acélgyártás teljes energiafogyasztásának csökkentésére irányuló törekvésekben, a nyersvaselőállítás energiaszükségletének csökkentése a fő feladat.

Az 1. táblázat tanúsága szerint nyersvasgyártásunk összes fajlagos energiafogyasztása jelenleg 23,64 GJ (primer energiában 28,26 GJ), mely a világon átlagosan elért 18,70 GJ-hoz viszonyítva 26,42%-kal több. Az energia-tételek részesedését megvizsgálva kitűnik, hogy a nagyolvasztóba bevitt fajlagos energiamennyiség messze legnagyobb hányadát — jelenleg 70,98%-át — a koksz képviseli, mely mostani adottságaink mellett 685 kg-ot jelent 1 t nyersvasra vonatkoztatva. A fajlagos kokszfogyasztás világátlagban 530 kg körül mozog, de léteznek 400 kg/t nyersvas kokszfogyasztással dolgozó nagyolvasztóművek is. Nyersvasgyártásunk koksz-szükségletének mind emellett 2/3-át, vagyis évente közel 1 Mt-t importálnunk kell, s bár ez a kokszmennyiség nagyobb részben szocialista országokból származik, a pillanatnyilag 180 dollár-os, ill. 5120 Ft-os tonnánkénti ár jelentős tényezője külkereskedelmi kiadásainknak. A túlzott energiafogyasztás kisebbik hányadát nagyolvasztóink kétségtelen technológiai elmaradottsága — mint pl. a felhasznált levegő nem kielégítő hőmérséklete, a nagytoroknyomás csaknem teljes hiánya, néhány

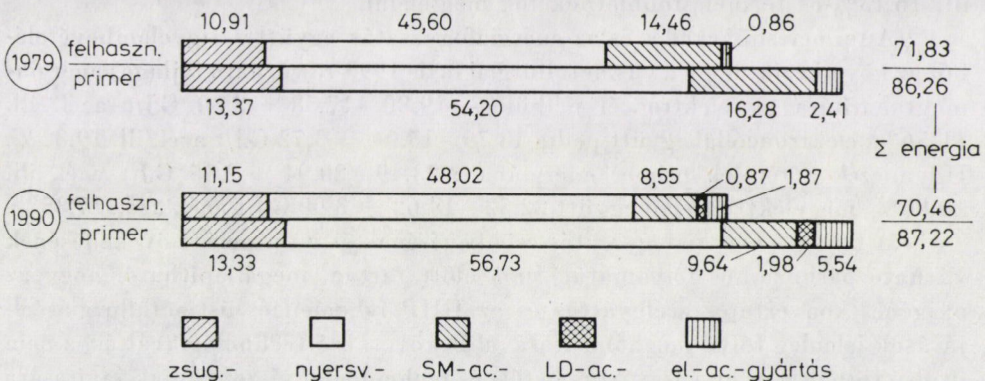
nagyolvasztónk elavultsága, felszereltségének, szabályozásának hiányossága, betétanyagainak porossága, stb. — indokolja. Az energiafogyasztás többletének nagyobbik hányadát azonban a rendkívül rossz betétanyagviszonyok okozzák. Nagyolvasztóink 1 t elegy kohósításából 440 kg nyersvasat, a Szovjetunió 550 kg-ot, Japán és a Német Szövetségi Köztársaság 600 kg-ot állíthat elő. Minden tonna nyersvas mellett 850 kg salakot kénytelenek a hazai nagyolvasztók megolvasztani. Ugyanez a tétel a Szovjetunióban 400—450 kg, Japánban és a Német Szövetségi Köztársaságban 300—350 kg.

A vasban dúsabb ércек feldolgozására irányuló törekvés létjogosultsága tehát igen nagy, mely egyfelől az ércdúsítás megvalósítását, másfelől jóminőségű ércек beszerzését kell, hogy eredményezze.

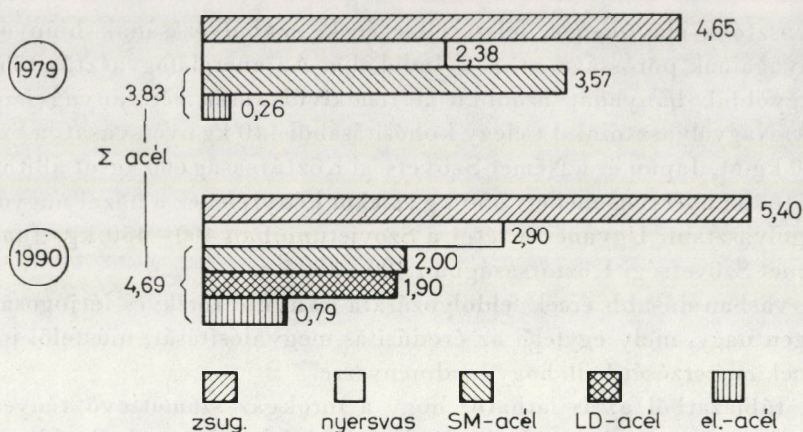
A táblázatból az is látható, hogy a torokgáz számottevő tényezője a nyersvasgyártás energiaforgalmának. Ezért feltétlenül meg kell oldani veszteségmentes felhasználását, mely ma még csak 75–80%-ban teljesül. Nyersvasgyártásunk 1990-re várható fajlagos energiafogyasztása — bár láthatóan jelentősen csökken — de sajnos nem fogja elérni a jelenlegi világátlagnak megfelelő értéket. A fajlagos kokszfogyasztás a jelen ismereteink szerint 10 év múlva is még 572 kg lesz.

Ezért az 1990-re tervezett elegykihozatal, mely 750 kg salakot jelent 1 t nyersvasra, mind technológiai, mind gazdaságossági szempontból felülvizsgálatra szorul.

Az 1 t acélra vonatkoztatott, s az előzőekben vázolt módon csökkenő energiafogyasztás eredményeként hazánk vasmetallurgiai vertikumának összes energiafelhasználása — az acéltermelés jelentős növekedése ellenére — gyakorlatilag változatlan marad. A 8. ábrán feltüntetett adatok szerint 1979-ben a vasmetallurgiai fázis 71,83 PJ energiát (86,26 PJ primer energiát) használt fel, melynek legnagyobb hányadát természetesen a nyersvasgyártás, legkisebb hányadát pedig az elektroacélgyártás igényelte. 1990-ben a várható összes



8. ábra. A hazai vasmetallurgia energiafelhasználása, PJ/év



9. ábra. A hazai vasmetallurgia termelése, Mt/év

energiafogyasztás csaknem pontosan megegyezik a jelenlegivel, de az acélgyártó fázis energiafelhasználásában és annak szerkezeti összetételében — az LD-acélgyártás megjelenése következtében — kedvező változás jön létre. A nyersvasgyártás energiaigénye — a fajlagos energiafogyasztás csökkenése ellenére, növekvő mennyisége következtében — nagyobb hányadát fogja képviselni a vasmetallurgia vertikum teljes energiaszükségletének, mint jelenleg.

A 10 év múlva is gyakorlatilag változatlan energiafelhasználás mellett, a hazai vasmetallurgiai termelés jelentősen növekszik. Amint arról a 9. ábra tájékoztat, a jelenlegi 3,83 Mt acéltermelésünk 3,57 Mt SM-acélt és 0,26 Mt elektroacélt foglal magában.

1990-ben várható 2,0 Mt SM-, 1,9 Mt LD- és 0,79 Mt elektro-, azaz összesen 4,69 Mt acéltermelésünk, a a jelenlegihez képest 22,45%-os növekedést fog jelenteni. Ez természetesen a nyersvastermelés és az ahhoz tartozó zsugorítványtermelés növelésének szükségességét is maga után vonja, ami 21,85%-os, ill. 16,13%-os termeléstöbbletnak fog megfelelni.

A termelésnövekedés és az energiafogyasztás együttes figyelembevételéből az következik, hogy a vasmetallurgiai fázis 1990-re várható fajlagos energiamegtakarítása — elektroacél nélkül — $19,88 - 17,58 = 2,30$ GJ/t acél, ill. 11,56%, elektroacéllal együtt pedig $18,76 - 15,04 = 3,72$ GJ/t acél, ill. 19,82%. Ugyanezek a tételek primer energiában: $23,49 - 20,94 = 2,55$ GJ/t acél, ill. 10,86%, míg elektroacéllal együtt $22,52 - 18,62 = 3,90$ GJ/t acél, azaz 17,35%.

A fajlagos energiafogyasztás csökkenésének és a termelés növekedésének várható párhuzamos folyamatát szem előtt tartva, megállapítható, hogy az oxigénos konverteres acélgyártás és az UHP ívkemencés üstmetallurgiai eljárások jelenleg folyó meghonosításával bekövetkező technológiaváltás, s nem utolsósorban a nyersvasgyártás betét- és technológiai viszonyainak javítására irányuló törekvés, a hazai vasmetallurgia fejlesztésének helyes irányát tá-

masztja alá. A vonatkozó fejlesztési tervek fokozatos megvalósulásának eredményeként — ha vasmetallurgiánk mintegy másfél-két évtizedes lemaradását nem is tudjuk az elkövetkező 10 évben megszüntetni — jelentős előrehaladást fogunk elérni a jelenlegi nemzetközi színvonal megközelítésében, miközben acéltermelésünket úgy tudjuk fokozni, hogy a felhasznált energiamennyiség részesedése a népgazdaság energiafogyasztásában számottevően csökken.

IRODALOM

1. GOMBÁS L.: Alapvető szempontok az acéltermelés fejlesztésére. *BKL, Kohászat* 12. (1979) 535—543
2. FROST, P. D. and co.: Energy consumption in the primary production of metals. *Iron and Steel Engineer* (1979) April, 50—56
3. BARNES, R. S.: Der gegenwärtige Stand der Technologie der Eisen- und Stahlerzeugung. *Stahl und Eisen* (1974), 1077—1084
4. BARNES, R. S.: The current state of iron and steel technology. *Ironmaking and Steelmaking* (1975), 82—88
5. THORNTON, D. S.—WILLIAMS, D. J. T.: Effect of raw materials for steelmaking on energy requirements. *Ironmaking and Steelmaking*, (1975) 241—247
6. BARNES, R. S.: The role of nuclear steelmaking. *Ironmaking and Steelmaking* (1975) 271—278
7. FRIED, R.—STROHSCHNEIN, H.: Die Energiewirtschaft der Stahlindustrie in der geänderten Versorgungslage. *Stahl und Eisen* (1975) 85—90
8. FRIEDL, R.—PÖTTKEN, H. G.—RISSE, W.: Die Energiewirtschaft der Stahlindustrie der Bundesrepublik Deutschland im Einflussbereich der Weltenergiewirtschaft. *Stahl und Eisen* (1973) 920—927
9. WINZER, G.—REICHENSTEIN, E.: Technologie der Eisen- und Stahlerzeugung in den Jahren 1975 bis 2005 — Bericht über eine Studie der Hamersley Iron Pty. Ltd. (Australien). *Stahl und Eisen* (1978) 1119—1126
10. LÉVAI A.: Energetikai kilátások Magyarországon az ezredforduló táján. *Ipargazdaság* (1978) dec., p. 6—10

KORREFERÁTUM

HORVÁTH JÁNOS

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

FARKAS Ottó elhangzott előadásában kiemelte azt a tényt, hogy hazánkban az acélgyártás fajlagos összes energia-igénye elsősorban azért alakul kedvezőtlenül, mivel a nyersvas-gyártásnál nagy a fajlagos energiaszükséglet.

Ennek alapvető okát az alapanyagok kedvezőtlen összetételében látjuk. A jelenleg túlnyomó hányadban használt krivoj-rogi aglohematit érc szitafrakciónkénti vegyelemzésének áttekintése problémáinkra egyértelműen rávilágít.

Elég, ha csak annak a ténynek az említése, hogy az aglóérc 30%-ban tartalmaz 6,3 mm feletti frakciókat. A térfogatsúly sem állandó, hiszen az egyes frakciók Fe és SiO_2 tartalma is változó. Példaként említhető, hogy míg a 0,50–0,63 mm-es frakció Fe-tartalma egyes esetekben 63,5%-os értéket is elér 6,8% SiO_2 tartalom mellett, addig a 8–12,5 mm-es frakciójú érc Fe tartalma csak 44–45%, de a SiO_2 tartalma már 29,5–30,6%. Nem szólva a zsugorítmány-gyártás nehézségeiről ilyen minőségű alapvető elegyalkotó esetében. Érzékelhető a nyersvas-gyártásra gyakorolt kedvezőtlen hatása: 1978–79-ben országos szinten az elegykihozatal 44% alatt maradt, a fajlagos kokszfogyasztás pedig 1978-ban 655 kg száraz kokszt volt 1 tonna nyersvasra, amelyet 1979-ben 646 kg/tonnára tudtunk csökkenteni.

Az utóbbi évtizedek rohamos technológiai fejlődése világviszonylatban a nyersvasgyártás területén is megmutatkozott. A végrehajtott számos változtatás a termelés növelése mellett elsősorban a fajlagos kokszfogyasztás csökkentésére irányult. Leghatékonyabb módszerek az elegykészítés javítása mutatkozott, azaz a vashan dús ércek alkalmazása, a bányászott ércek egyre mélyebb dúsítása. Hazai viszonylatban is elsősorban ezen a téren kell intézkedéseket foganatosítani.

A kedvezőbb elegy alkalmazása mellett a technológia fejlesztése a következő irányokban történt:

- a forrószél-hőmérséklet növelése, amely napjainkban a korszerű nagyolvasztóknál 1500 K;

- kokszt helyettesítő energiahordozók befúvatása a fúvósíkba, melyek közül leginkább elterjedt a szénhidrogének alkalmazása,

— a fúvósél oxigénnel való dúsítása a szénhidrogének befúvatható mennyiségének növelése és a nagyolvasztók teljesítményének növelése céljából,

— a toroknyomás növelése, egyenletesebb járat biztosítása, az indirekt redukció mértékének növelése céljából.

A fejlettebb technológia alkalmazása terén is elmaradásban van vas-kohászatunk. 1979-ben az alkalmazott forrószél hőmérséklete kerekén 1200 K volt, azaz az elmaradásunk 300 K. A világon elsőik között alkalmaztuk a szénhidrogének befúvatását, ugyanakkor ezek mennyiségét növelni nem tudjuk, mivel a mai napig sincs oxigént alkalmazó nagyolvasztó. Növelt toroknyomással mindössze egyetlen nagyolvasztónk dolgozik és a jövőben is csak egynél tervezik alkalmazását.

A felhasznált ércek ferrumtartalom növelésének természetes határai vannak, de a gazdaságosan befúvatható szénhidrogén (esetleg szén, vagy kokszpor) mennyisége is korlátozott. Gyakorlati tapasztalatok alapján normál atmoszférikus levegő alkalmazása mellett 70 - 90 m³ földgáz, illetve ugyanennyi kg olaj fúvatható be 1 tonna nyersvasra vonatkoztatva.

A koksizolható szénkészlet erőteljes csökkenése, a kohókokszárok ugrás-szerű növekedése napjainkban az importra szoruló országokat abban is érdekeltté teszi, hogy termelési kapacitásaik kihasználása mellett ne csak a fajlagos kokszigényt csökkentsék, hanem a változatlan vagy növekvő nyersvasigényt a nagyolvasztókban időegység alatt eltűzelt — egyébként állandó — kokszmennyiség csökkentésével biztosítsák.

A fajlagos kokszzükségletet, az időegységre vonatkoztatott kokszigényt, a jövőben hagyományos módszerekkel tovább csökkenteni már alig lehetséges.

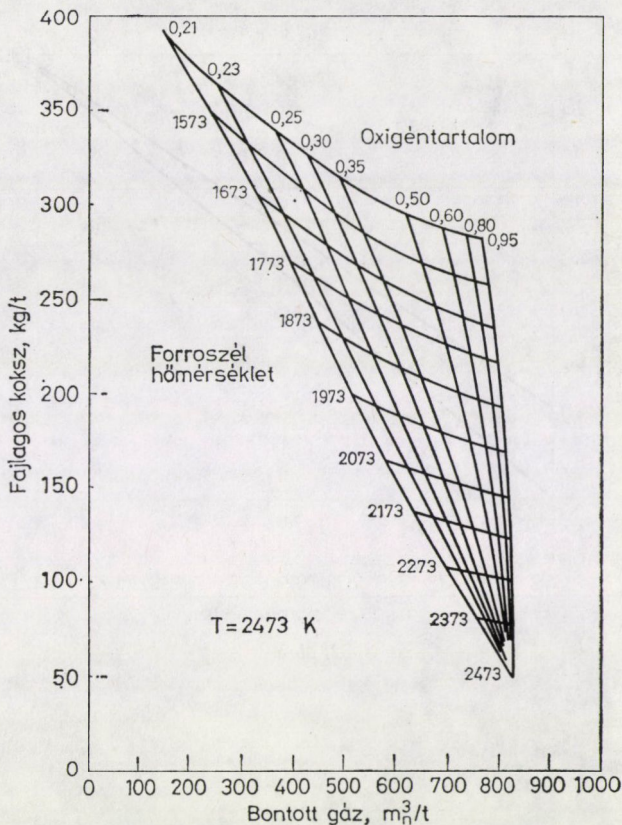
A nyersvasgyártás fenti célját illetően igen nagy reményekre jogosít az a technológia, amelynek lényege a forrószél oxigénes dúsítása és ezzel párhuzamosan a — szénhidrogének kohón kívüli bontásból származó, 1500 K-nál nagyobb hőmérsékletű — forró redukálógázok befúvatása a nagyolvasztó fúvósíkjába.

Elvégzett elméleti számításaink eredményeit az 1. ábra mutatja. Az égéshőmérséklet közel 2500 K.

A számításoknál igen jól előkészített, a korszerű lehetőségeket figyelembe vevő elegykihozatalt biztosító elegyből indultunk ki.

Kokszhelyettesítő anyagok felhasználása nélkül az elérhető maximális fajlagos kocszfogyasztás 530 kg/t az adott esetben.

Mint az ábrán látható, a forrószél és ezzel együtt a forró szénmonoxid- és hidrogéntartalmú gázok hőmérsékletének növelésével az elméleti égéshőmérséklet biztosító oxigéntartalom és a redukáló gázmennyiség függvényében a fajlagos kokszigény jelentősen csökkenthető. Az elméleti számítások szerint 1 m³ 1500 K hőmérsékletű gáz 0,31 kg kocszt helyettesít. (1 m³ hideg föld-



1. ábra

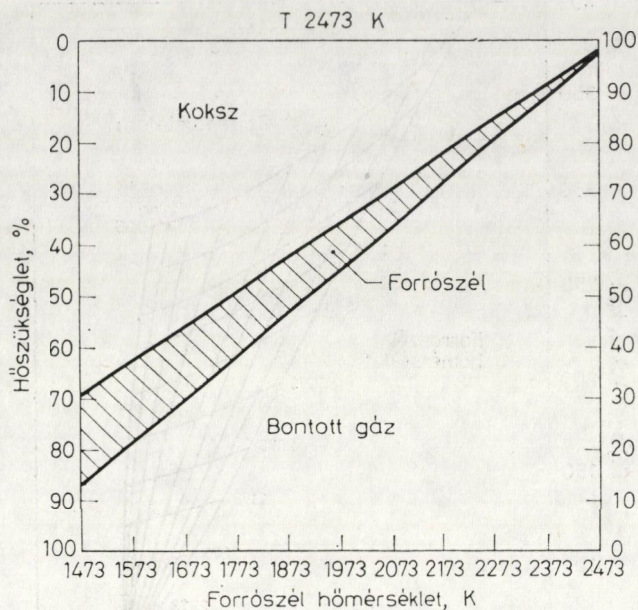
gáz befúvatása a gyakorlati adatok szerint 0,9 kg kokszot helyettesít.) Amennyiben 1 m³ földgázból 4 m³ redukálógazt állítunk elő, és előmelegítjük azt, a helyettesítési arány 30%-al növelhető.

A szakirodalom számos kísérletről számol be, ahol 1500 K körüli hőmérsékletű redukálógazt alkalmaztak. Az Egyesült Államokban és Japánban a Nippon Kokan cégnél kisméretű kísérleti kohóban végezték a vizsgálatokat. A szovjet, belga és brazil közlések szerint a hazai nagyolvasztók méretéhez hasonló kohókban már üzemszerűen is alkalmaztak forró redukálógazókat.

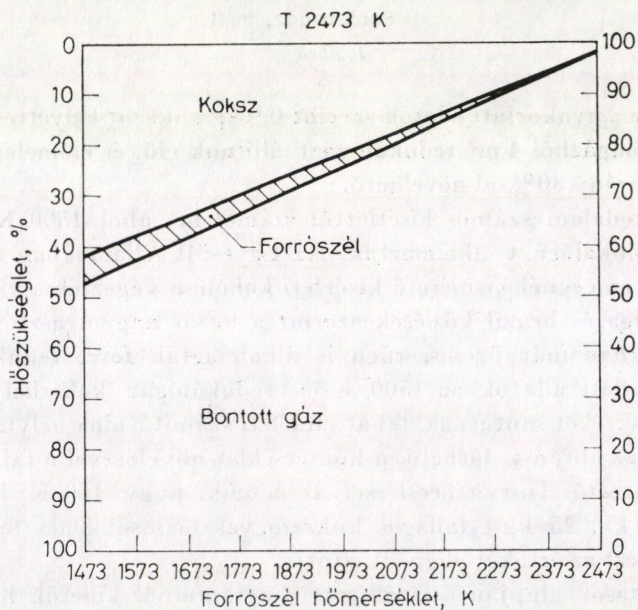
A gyakorlati adatok az 1500 K-os redukálógáz kokszhelyettesítésére 0,25 – 0,30 kg értéket mutatnak, tehát elméleti számításaink helytállóak.

Mint ez az ábrán is látható, a hőmérséklet növelésével a fajlagos kokszigény csökkenthető. Durva becsléssel az adódik, hogy 100 K hőmérséklet-növekedésnek kb. 25 kg/t fajlagos kokszfogyasztás-csökkenés felel meg. Az oxigéndúsítás ezt az értéket alig változtatja.

A számítások alapján összeállított diagrammból kiderül, hogy állandó elméleti égéshőmérsékleten és rögzített oxigénkoncentráció mellett létezik



2. ábra



3. ábra

olyan forrószél és ezzel azonos redukálógáz-hőmérséklet, amelynél a fajlagos kokszfogyasztás minimális. Ez a hőmérséklet mint kritikus érték közel azonos az elméleti égéshőmérséklettel.

A nyersvas felszenesítését és a metánképződés karbonigényét biztosító minimális kokszszükséglet, amennyiben a szénmonoxidot és hidrogént tartalmazó gázt az elméleti égéshőmérséklettel közel azonos hőmérsékleten fűjják a nagyolvasztóba, kb. 50 kg/t értékre csökkenthető. Hozzá kell tenni, — elméletileg. Ehhez fajlagosan 800 – 900 normálköbméter redukáló gáz szükséges.

A gyártás hőigényének alakulását, illetve annak biztosítását mutatja a 2. ábra. Az elméleti égéshőmérséklet állandó, a forrószél oxigéntartalma 21%. A hőmérséklet növelésével csaknem lineárisan csökken a koksszal biztosítandó hőszükséglet. 1500 K esetén az össz-hőszükséglet 65%-át biztosítja a kohókoks. A 3. ábra ugyancsak a hőigény biztosításának megoszlását mutatja be 95% oxigéntartalmú technológiai oxigén alkalmazásával. Jól látható, hogy a ferrószél és redukálógáz hőmérsékletének függvényében a koksszal biztosítandó hőigény az előbbiekben képest csökken, viszont a levegő illetve nitrogén-mennyiség csökkenéséből adódó kieső hő többlet-gázmennyiséggel kell biztosítani.

A redukálógázok elméleti égéshőmérsékletre történő hevítése ma már nem utópia. A plazmatechnika alkalmazása, a földgáz plazmaégőben való bontása ezt lehetővé teszi. Erre irányuló kísérletekről hír formájában a svéd és belga szakirodalomban olvashattunk. Az elméleti égéshőmérséklet alkalmazásának előnye nemcsak a kokszigény jelentős csökkentésében rejlik, hanem abban is, hogy a helyettesítési arány elméletileg 0,31 kg/m³-ről 0,51 kg/m³-re növekszik.

Az elméleti számítások és a gyakorlati alkalmazása során nyert tapasztalatok szerint forró redukálógázok alkalmazásával a kohókoks-szükséglet abszolút mennyisége is csökken, változatlan vagy növekvő nyersvastermelés mellett. Ennek mértéke a 30%-ot is elérheti.

Redukálógázok üzemszerű alkalmazásáról az elmúlt évtized második felében jelentek meg először részletesebb publikációk. Széleskörű ipari alkalmazás lehetőségéről a közelmúltban olvashattunk, nevezetesen az NSZK-ban vetették fel annak gondolatát, hogy a nagyolvasztók 50%-át állítanák át erre a technológiára.

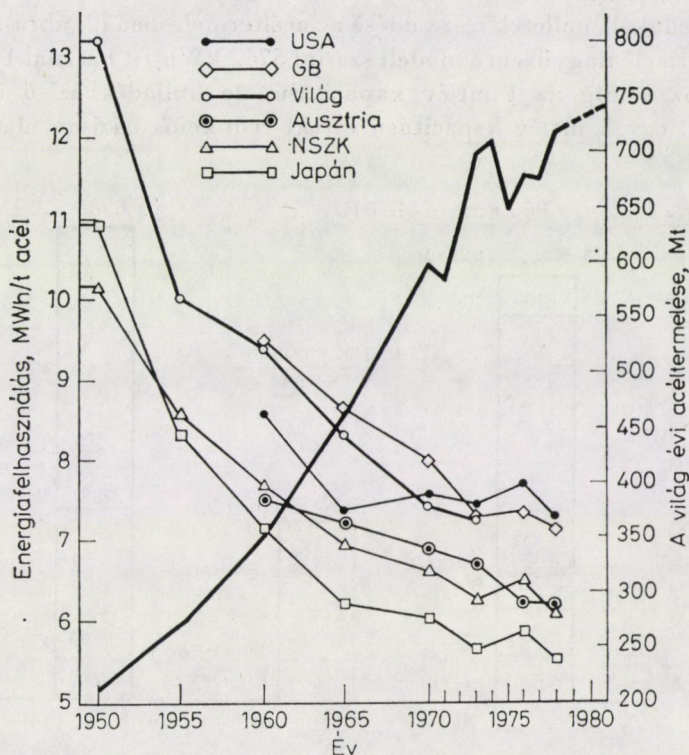
Hazai elméleti kutatásainkat az elmúlt évtized első éveiben fejeztük be. A Vasipari Kutató Intézet 1974. óta foglalkozott a redukálógáz előállításának problémájával. A szellemi erő rendelkezésre állt és feltételezhetően az anyagi eszközöket is biztosítani lehetett volna ahhoz, hogy a magyar vaskohászat ezen a területen is úttörővé váljék, mint ahogy tette azt a kokszhelyettesítő anyagok alkalmazásával több mint 20 évvel ezelőtt. A kutató munkát Intézetünk az elmúlt 6 év alatt is folytatta, és üzemszerűen kívánná folytatni. A kísérletek anyagi fedezete azonban napjainkban sem biztosított.

KORREFERÁTUM

RÉPÁSI GELLÉRT

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Az utóbbi években a nemzetközi szakirodalom egyre inkább az 1 t acél, vagy hengereltárú előállításához szükséges nettó energiamennyiséget használja a vaskohászati iparág fajlagos energiafogyasztásának mérésére, illetve összehasonlítására. Ezek az adatok részben a vonatkoztatási alap különbözősége, részben a résztvevő energiafajták átszámítási faktorának eltérő volta miatt, — nem teljesen pontosak ugyan — mégis alkalmasak az iparág energiaigazgatókodását meghatározó fő tényezők leolvasására. Az 1. ábrán látjuk például



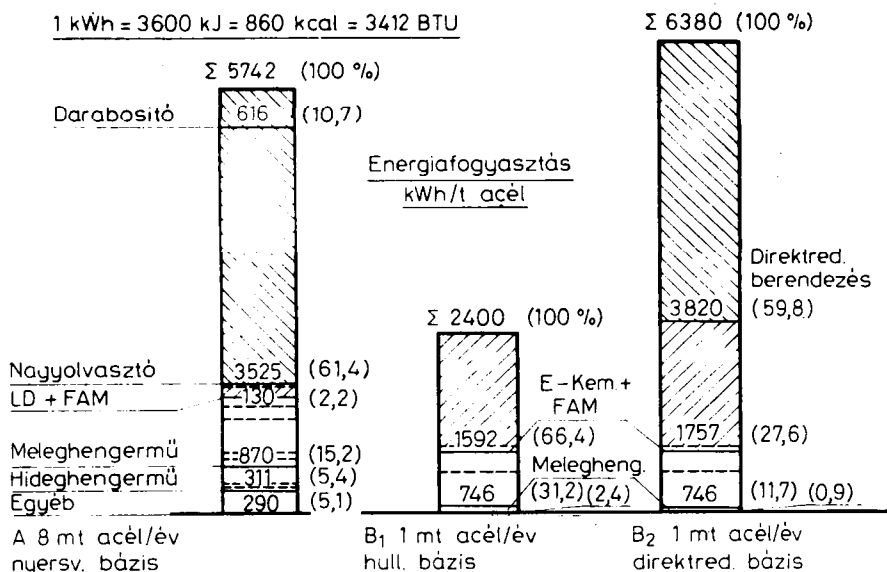
1. ábra

1950–1978 évek között a világra, köztük a legfontosabb nyugati acéltermelő országokra vonatkozó adatokat. Az 1 tonna nyersacél előállításához szükséges energia mennyiség 13,1 mWh/t értékről 8 mWh/t érték alá esett vissza, miközben az acéltermelés több, mint 3,5-szeresére nőtt. Az egyes országok között jelentős szórás tapasztalható. A fejlődés meghatározója a nyersvas- és acéltermelés egyre nagyobb termelőegységekben történő koncentrációja. Ezt kíséri egyrészt az alapanyagok egyre tökéletesebb előkészítése, valamint a magas hőmérsékletű metallurgiai reakciók intenzifikálása. Ez mutatkozik meg a kohászati salakok fajlagos mennyiségének csökkenésében, valamint az ipari oxigén felhasználásának rohamos növekedésében.

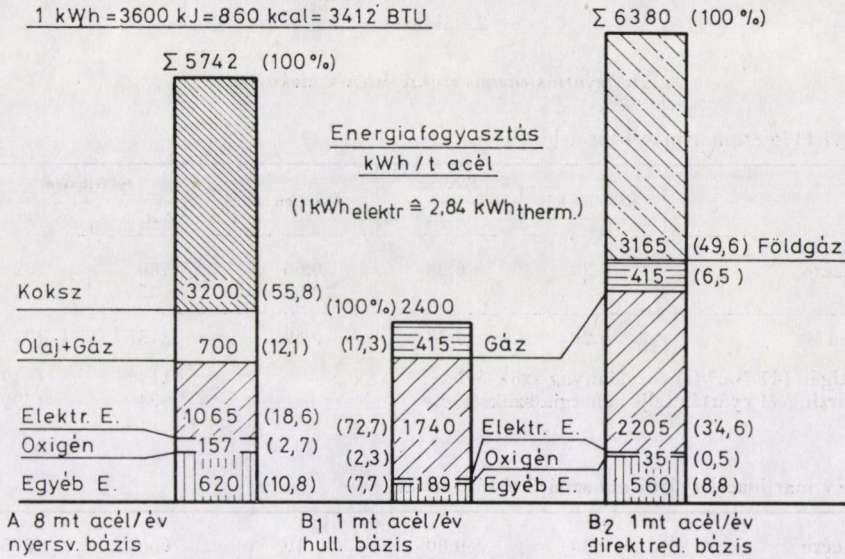
A különböző országok haladási iránya és sebessége is közel azonos, mégis a köztük levő különbségek az alaphelyzethez képest alig csökkentek. Ennek magyarázata éppen a termelés koncentrációjának mértékében ma is meglevő különbségekben rejlik.

Amíg Japán acéltermelésének döntő többségét néhány 8–10 mt-ás acélmű állítja elő, addig pl. az USA-ra, Angliára ma is a 2–3 mt-ás acélművek jellemzők.

A termelés koncentrációja mellett további meghatározó tényező az acélhulladék felhasználása, ill. ezek kiegészítésére egyre növekvő mértékben előállított, előredukált pelletek részesedése az acéltermelésben (2. ábra). Amíg egy évi 8 mt-t termelő nagyüzem a modell szerint 5742 kWh/t-t használ 1 tonna acél előállításához, addig az 1 mt/év kapacitású, de hulladékbázisú üzem csak 2400 kWh/t, egy 1 mt/év kapacitású direkt redukciós bázison alapuló üzem



2. ábra



3. ábra

pedig 6380 kWh/t. Ugyanakkor a 3. ábra szerint a nyersvasbázison alapuló acéltermelés energiaszükségletének 56%-a koks, a hulladék bázison levőnek 73%-a elektromos energia, a direkt redukción alapuló termelésnek pedig 50%-a redukáló gáz.

Direkt redukció útján ma mintegy 16 mt betétet állítanak elő elektromos kemencék számára. A várható gyors növekedést éppen energetikai okok magyarázzák: a direkt redukcióhoz nem szükséges koks, azaz kőszén, hanem erre a célra jól felhasználhatók az alacsony fűtőértékű szenekből előállított redukáló gázok, valamint a koksstermelés gázai: a kamragázok is. Ez a fejlemény jelentős, és mindenütt megtalálható energetikai bázis-bővülést jelent a vaskohóipar számára.

Ezekből az adatokból hazánk vaskohóiparának fejlesztésére néhány fontos következtetés vonható le. Ezek:

1. A nyersvasbázison alapuló acéltermelés (konverterek) lehető legnagyobb mértékű koncentrálásának kívánalma. Ez a kohók számának csökkenése mellett azok elegyviszonyainak, technológiai módszereinek radikális megváltoztatását is jelenti. A nyersvasgyártásra fordítódik az ilyen bázison működő, ún. integrált kohóművek összes energiaszükségletének több, mint 60%-a. Mivel az oxigénátfúvatású konverterek képezik a nyersvas kémiai és fizikai energiájának legnagyobb hatásfokú kihasználását, a folyékony nyersvasat csak konverterekben volna szabad feldolgozni.

2. Növelni kellene a hulladékbázison történő acélgyártás részesedési arányát, a termelés nagy egységekbe, UHP kemencékbe való koncentrálásával egybekötve. Ez nemcsak az ívfényes elektronkemencék számának, hanem azok

2. táblázat

Acélgyártás energiaszükségletének alakulása

1978. évi 1176 et. martinacél termelésnél:

	Kátrányolaj	Földgáz	Összesen	évi felhasznál.	
		Gcal/t		Tcal	(Tj)
Kemencére	0,28	0,38	0,66	780	(3260)
Egyéb	—	—	0,03	35	(146)
Összesen	0,28	0,38	0,69	815	(3406)
Oxigén (47 Nm ³ /(t) tüzelőanyag szükséglete:				119*	(497)
martinacél gyártás teljes energia szükséglete				934	(3904)

600 et/év martinacél gyártásnál szilárd betét esetén:

Kemencére	0,30	0,80	1,10	660	(2759)
Egyéb	—	—	0,02	14	(58)
Összesen	0,30	0,80	1,12	674	(2817)
Különbség a két gyártási eljárás között:				260	(1087)

Konverteres acélgyártásnál (1,1 mt/év)

	Gcal/t	Tcal	(Tj)
Hulladék előmelegítés (10 Nm ³ /t földgáz (350–370 kg/t, 500 C°-os előm.)	0,08	83	(388)
Oxigén (53 Nm ³ /t) tüzelőa. szükséglete	0,11	126*	(526)
Egyéb	0,02	—	—
Összesen	0,21	219	(914)
A konverter füstgáz hasznosításával elért tüzelő- anyag megtakarítás		330	(1379)

Összegezés

	Tcal	(Tj)
1978. év martinacél gyártásnál	934	(3904)
600 et. martinacél + 1.100 et. konverteracélnál	893	(3721)
megtakarítás az acélgyártásnál	41	(171)
megtakarítás konv. füstgázhasznosításnál	330	(1379)
Összes megtakarítás	371	(1550)

* 0,9 kWó/Nm³, 2400 kcal/kWó

fajlagos energiafogyasztásának radikális csökkenését is magával hozná. Az iv-fényes elektrokemencét hosszú évtizedeken át nemesacélgyártó berendezésnek tekintettük, és termelőkapacitásukat az ötvözött acélszükséglettől tettük függővé. Pedig már régen nem ezt a célt, hanem az acélhulladékok jelenleg leg-gazdaságosabb átolvasztását szolgálják. A „nemesítést” ma már kisebb anyag-és energia ráfordításokkal az üstmetallurgiai eljárások biztosítják.

A hulladékbázis bővítésének szükségessége vezetett a salakokban levő Fe-tartalom kinyerésére. A salakból kinyerhető Fe az acéltermelés 1 tonnájára vonatkoztatva kb. 2%-kal növeli a hulladékbázist, és kb. 1%-kal a jóminőségű érbázist. A Fe és az érc kinyerés mellett növeli a módszer jelentőségét a mágnes szeparáláskor keletkezett tűzállóanyagok és színesfémek visszanyerésének (és a SM, ill. LD-salak útépitésre való felhasználásának lehetősége.

Átmeneti helyzetben a SM kemencék is felhasználhatók hulladék olvasztására. Ezen alapszik pl. a DV középtávú acélgyártási terve is. A 2. táblázatból látható, hogy a nyersvasbázison alapuló konverter acél termelésnek a hulladék-olvasztásra átállított SM-acél termeléssel való kombinálása arra a jelentős eredményre vezet, hogy az acéltermelés növeléséhez nincs szükség többlet energia forrásra. A konverter üzem energia mérlege olyan többletet is fel-mutathat, amely azt energia termelő egységgé is minősítheti. Ez az eset akkor áll elő, ha a keletkezett nagyhőmérsékletű reakció gázokat gőztermelésre, vagy ami még jobb, kohászati hevítő berendezések fűtőanyagaként használják fel.

3. A nyersvasbázison alapuló konverter acél termelés szükségessé teszi az érbázis átalakítását is. Ez a szükségszerűség annak a kérdésnek a vizsgálá-tához vezet, milyen szerepe lehet a direkt-redukciós eljárásoknak hazánk vaskohászatában. Energetikai és metallurgiai szempontból nézve is arra a következtetésre jutunk, hogy az acéltermelés bővítésének ez a kedvezőbb útja, főleg azért, mert az energia bázis így szélesebb lehet. Az ércnek direktredukció-jára ugyanis nemcsak földgázt, hanem kamragázokat és alacsony fűtőértékű szenekből előállított redukáló gázokat is fel lehet használni. Ugyanakkor eze-ket kohókokszt helyettesítésre is használjuk. Így válik lehetővé a vásárolt olaj felhasználásának megszüntetése is, ill. ennek a kokszgázokból kinyert mennyi-ségre való korlátozása is. Ilyen irányú haladás tehát megszüntetheti a vas-kohászat fejlesztésének az energia importtól való függőségét. Ez az út jelentős minőségjavulással is jár, mert a direktredukció útján nyert betétanyagok nem tartalmaznak káros kísérőelemeket — elsősorban ként és foszfort — amelyek metallurgiai úton történő kivonása egyébként is nagy energiamennyiségek felhasználását igényli.

Az integrált vaskohászati üzemek elméleti energia szükséglete 3400 kWh/t acél. Az energetikai hatásfok tehát 45 – 55% között van. A mérleg 17 – 20% magas hőmérsékletű hőenergia veszteséget mutat. Ez a veszteség nagyrészt a kohá-szati folyamatok diszkontinuitásának következménye. A kohászati elő- és fél-késztermékek a termelési folyamatban többször lehűlnek és többször fel kell

azokat ismét melegíteni. A diszkontinuitás csökkentésére a vaskohászati iparág hatalmas fejlesztő tevékenységet folytat. Ennek a legfontosabb állomásai: a folyamatos acélgyártás, a folyamatos öntés, valamint az öntött bugák hőtartalmának lehető legnagyobb mértékű kihasználása. Egyedül az acél folyamatos öntése több, mint 320 kWh/t megtakarítást — tehát az összes energiafogyasztás több, mint 5%-át — képviseli. Az eredmény döntő mértékben a kihozatal javulásából és az előnyújtás műveletének elmaradásából származik. A folyamatosan öntött bugák meleg állapotban való továbbítása a tolókemencékbe további 350 kWh/t megtakarításra ad lehetőséget. Az energia takarékos kohászati technológiát már ma is az a megoldás képviseli, hogy a folyékony nyersvasat nagy teljesítményű konverterben alakítják acéllá, azt a folyamatos öntőművekben öntik féltermékké, hiányzik a klasszikus előnyújtósor, és a folyamatosan öntött bugát meleg állapotban (400–500 °C) továbbítják a tolókemencékbe. Ez az üzem tehát több, mint 10%-kal kevesebb primér energiát használ fel, mint a klasszikus kohászati technológia. Ennek a folyamatnak napjainkban szemtanúi vagyunk.

Újabban egyre nagyobb mértékben terjednek el az ún. szekundér metallurgiai eljárások a tömegacélgyártó nagyüzemekben is. Energetikai szempontból jelentőségük abban van, hogy a primér kemencéket csak olvasztásra és defoszforizálásra használják fel, ezért ezek fajlagos teljesítménye akár 30–40%-kal is megnő, fajlagos energiafogyasztásuk még nagyobb mértékben csökken. Az acél finomítását, kéntelenítését, dezoxidációját, ötvöztetését, gáztalanítását az üstökben végzik. A teljes energia megtakarítás mértéke attól függ, hogy milyen hővesztéssel kell e műveletek közben számolni, ill. szükséges-e az acélnek a folyamatok újbóli ívfényes felmelegítése és indukciós átkeverése. Egy melegítés nélkül üstmetallurgiai folyamatra jellemző, hogy a csapolási és az öntési hőmérséklet között 120–140 °C különbség van. Az ezáltal okozott energia veszteség csökkentésére ma is jelentős kutató-fejlesztési tevékenység folyik.

Ezekkel a metallurgiai-technológiai változásokkal egyidőben folyik a hulladék energia hasznosítására irányuló fejlesztő tevékenység is. Ennek leglényegesebb állomásai: a 130 kWh/t-t képviselő száraz kokszoltás és e folyamat közben keletkező hulladék hőenergia szénelőmelegítésre való felhasználása, mely további — közel 60 kWh/t — energia megtakarítást képvisel; a nagyolvasztóknál nagy jelentősége van az ún. torokgázellennyomású turbinák alkalmazásának, mely kb. 250 kWh/t energia visszanyerést képvisel. Az LD konverter üzemek 70% CO-tartalmú, magas hőmérsékletű gázai 175 kWh/t megtakarítást képviselnek, ha azokat visszavezetik a kohászati folyamatokba és 120 kWh/t, ha gázt termelnek vele. Nincsenek azonban még megoldások a nyersvas és acélgyártási salakok fizikai hőtartalmának visszanyerésére.

A kohászati berendezések működtetésének szükségszerű kísérője a hűtővíz. Az ezzel elvitt hőmennyiség a felhasznált energia 14–16%-át képviseli.

E veszteségek csökkentésére egyre általánosabbá válik a berendezések elpárologtató rendszerű hűtése, mely a nagyolvasztót, SM kemencéket, tolókemencéket gőztermelő egységekké is alakítja. A hűtővíz hőenergiájának visszanyerésére túl megy a kohóművek kerítésén, mert a gőz és melegvíz formájában visszanyerhető energia mennyiség nagyobb, mint a kohóüzemek szükséglete ezen energiafajtákból. A teljes hasznosítás tehát csak a kommunális hálózathoz való bekapcsolódással érhető el, ami viszont jelentős népgazdasági haszonra vezethet.

Egy hosszútávú energiaprogram kidolgozásánál azonban nemcsak a megtakarítási lehetőségeket kell elemeznünk, hanem figyelembe kell vennünk a szükségszerűen bekövetkező többletráfordításokat is. Ezek közül legfontosabbak a környezetvédelmi kiadások. Ezek a törvényes előírások betartása esetén 100 kWh/t-t meghaladó ráfordításokat igényelnek — a tetemes beruházási kiadások mellett. De többletenergia ráfordítást igényel a minőségi és ötvöztetett acélok részesedésének növelése is. E többletkiadásokat olyan — ma már elkerülhetetlen — eljárások bevezetése okozza, mint pl. a vakuumtechnika, a szekunder metallurgia, az elektrosalakos átolvasztás, vagy a méretpontosabb hengerlés, öntés, kovácsolás stb. Mind amelletts hangsúlyozni kell, hogy a legnagyobb veszteségeket mégis a berendezések nem teljes fokú kihasználása és azok üzemzavarai, állásidőik okozzák.

A fentiekben vázolt technológiai-energetikai megoldások képezik a Dunai Vasmű energiatakarékos technológiai fejlesztésének főbb célkitűzéseit. Ezek segítségével kívánjuk helyzetünket az integrált kohóművek közötti nagy energetikai-technológiai versenyben tovább erősíteni.

IRODALOM

1. HIEBLER, H.: Angebot, Bedarf und Einsatz von Energie für die Eisen- und Stahlherstellung
2. WENTNER, H.: Stahlerzeugung bei weitestgehender Abhängigkeit von Energieimporten am Beispiel Österreichs
3. SCHLAGER, W.—KÜHNELT, G.—MACHNER, P.—EGGENHOFER, A.: Die Edelstahlherstellung bei Anwendung der Sekundärmetallurgie

AZ EGYIK VÉGÉN RUGALMASAN BEFOGOTT RÚD STABILITÁSÁRÓL

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett: 1980. szeptember 24-én]

Jelen tanulmány a rugalmas anyagú, függőleges tengelyű prizmatikus rúd önsúlyteher okozta kihajlásával foglalkozik. Felteszi, hogy a vizsgált rúd alsó vége rugalmasan befogott, felső vége viszont teljesen szabad. A rúd kritikus terhét a Timoshenko-féle közelítő eljárással, az ún. energiamódszerrel határozza meg. A rúdtengely kihajlott alakját közelítésképpen harmadfokú polinomként veszi számításba. Az ismertetett eljárás abban a szélsőséges esetben, amikor a rúd alsó vége mereven befogott, a ténylegestől alig eltérő eredményre vezet, abban a másik szélsőséges esetben viszont, amikor a rúd abszolút merev, teljesen pontos eredményt szolgáltat.

I. Bevezetés

A függőleges tengelyű, alul mereven befogott, fent teljesen szabad rúd kihajlásával számos tanulmány, köztük TIMOSHENKO [1] kitűnő monográfiája foglalkozik. A végein terhelt és különbözőképpen megfogott prizmatikus rúd stabilitásproblémáját W. MUDRAK [2] és LIPTÁK László [6] tárgyalta. Több dolgozat vizsgálta azt a kérdést is, hogy adott anyagmennyiségből minő magasra építhető valamely függőleges tengelyű, alul mereven befogott, fent szabad végű oszlop anélkül, hogy kihajlás veszélye forogna fenn. Így J. B. KELLER [4] majd I. TADJBAKSHI és J. B. KELLER [5] a legkedvezőbb alakú, alul mereven befogott oszlop kihajlásproblémáját tanulmányozták annak feltételezésével, hogy az oszlopnak csak a tetőpontjára hat terhelő erő. J. B. KELLER és T. J. NIORDSON [7] viszont a tetőponti terhen kívül önsúlyával is terhelt, alul mereven befogott oszlop legkedvezőbb alakját vizsgálták.

Az oszlopok stabilitásproblémájához hasonló problémák merülhetnek fel magas, karcsú építmények (kémények, tornyok) esetében is. Nálunk ezt a kérdést először MENYHÁRD István vetette fel, mégpedig a százhalombattai erőmű 100 m magas kéményének építése kapcsán. Hasonló feladattal, a magasan fekvő súlyponttal bíró építmények állékonyságával foglalkozott DULÁCSKA Endre [3]. Ő az építményre ható függőleges terhek esetleges excentrikus voltát, továbbá a szélteher hatását, valamint azt a körülményt is figyelembe vette, hogy az építmény elferdülésekor az alapzat nem teljes felületén fekszik fel a rugalmas altalajra.

Jelen tanulmány a függőleges tengelyű, rugalmas anyagú prizmatikus rúd kihajlásával foglalkozik. Felteszi, hogy a rúd alul rugalmasan van befogva,

fent viszont teljesen szabad. Terhelésként a rúdtengely mentén egyenletesen megoszló függőleges erőrendszert (önsúlyterhet) vesz számításba. A rúd kihajlását előidéző terhet, az ún. *kritikus terhet* a statikában használatos Timoshenko-féle *energiamódszerrel* tárgyalja [1], amely a kritikus teher egy felső korlátértékét szolgáltatja. A számítások azon a feltevésen alapulnak, hogy a rúd befogása a kihajlás pillanatában is teljes hatékonyságában érvényesül.

2. Jelölések

Vizsgálatainkban a szövegben értelmezett jelöléseken kívül az alábbi betűjeleket használjuk:

- l — a rúd hossza
- E — a rúd anyagának rugalmassági tényezője
- I — a rúd anyagának mértékadó tehetetlenségi nyomatéka
- q — a rúdtengely egységnyi hosszára jutó függőleges teher
- M — a rúd keresztmetszetén keletkező hajlítónyomaték
- M_0 — a rúd befogási keresztmetszetére ható hajlítónyomaték
- c — az alaplapp egységnyi elfordulását előidéző nyomaték
- φ — az alaplapp elfordulási szöge
- U — a meggyömbült rúdtengely hajlítási energiája
- V — a befogás energiája
- W — a terhelő erők által a kihajlás során végzett munka

3. Alapösszefüggések

A Timoshenko-féle energiamódszert alkalmazva [1], a kis mértékben kihajlott rúdtengely alakját az

$$y = \frac{Ax}{l} + \frac{3B}{2l^2} \left(x^2 - \frac{x^3}{3l} \right) \quad (1)$$

polinommal közelítjük meg, ahol x , y az 1. ábrán feltüntetett derékszögű koordináták, A és B pedig az 1. ábrán magyarázott elmozdulásértékek.

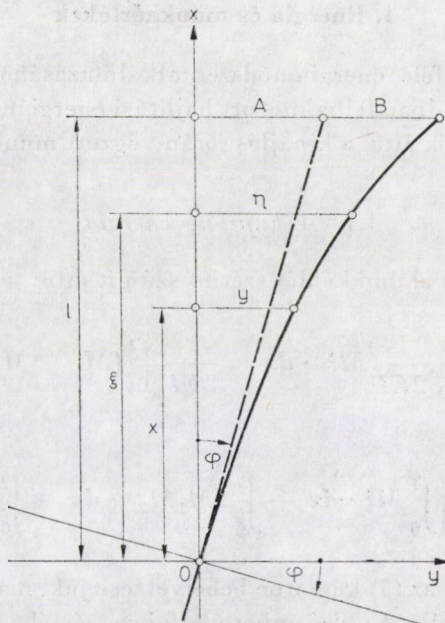
Az (1) összefüggés szerint a rúd felső végén, vagyis az $x = l$ helyen

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 0,$$

ami megfelel ama kikötésünknek, hogy ez a rúdvég teljesen szabad.

A kihajlott rúd x ordinátájú keresztmetszetére ható M hajlítónyomaték így fejezhető ki:

$$M = \int_x^l q(\eta - y) d\eta.$$



1. ábra. Jelölések

A fenti képletben szereplő y érték az (1) képlettel számítható, η értéke pedig

$$\eta = A \frac{\xi}{l} + \frac{3B}{2l^2} \left(\xi^2 - \frac{\xi^3}{3l} \right),$$

így

$$M = q \int_x^l \left[\frac{A}{l} (\xi - x) + \frac{3B}{2l^2} \left(\xi^2 - x^2 - \frac{\xi^3 - x^3}{3l} \right) \right] d\xi.$$

A kijelölt műveleteket elvégezve, M két részre bontható:

$$M = M_1 + M_2,$$

ahol

$$M_1 = A \frac{q}{l} \left(\frac{l^2}{2} - lx + \frac{x^2}{2} \right), \quad (2)$$

$$M_2 = B \frac{3q}{2l} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 + \frac{x^3}{3l} - \frac{x^4}{4l^2} \right). \quad (3)$$

A befogási keresztmetszetben, vagyis az $x = 0$ helyen a hajlítónyomaték

$$M_0 = A \frac{ql}{2} + B \frac{3ql}{8}. \quad (4)$$

4. Energia és munkaértékek

A Timoshenko-féle energiamódszer alkalmazásához meg kell határoznunk a meggömbült rúdban felhalmozott hajlítási energiát, a befogás energiáját, valamint a terhelő erők által a kihajlás során végzett munkát.

4.1. A hajlítási energia

Ez az energia az alábbi képlet szerint számítható:

$$U = \int_0^l \frac{1}{2EI} M^2 \cdot dx = \frac{1}{2EI} \int_0^l (M_1 + M_2)^2 dx.$$

Részletekre bontva,

$$U = \frac{1}{2EI} \left(\int_0^l M_1^2 \cdot dx + \int_0^l 2M_1M_2 \cdot dx + \int_0^l M_2^2 \cdot dx \right). \quad (5)$$

A (2) és (3) alattiakat az (5) képletbe behelyettesítjük, majd a kijelölt integrálműveleteket elvégezzük. Az első integrálkifejezés értéke

$$\int_0^l M_1^2 \cdot dx = \frac{A^2 q^2}{l^2} \left[\frac{l^4 x}{4} - \frac{l^3 x^2}{2} + \frac{l^2 x^3}{2} - \frac{l x^4}{4} + \frac{x^5}{20} \right]_0^l = \frac{A^2 q^2 l^3}{20}, \quad (6a)$$

a második integrálkifejezés értéke

$$\begin{aligned} \int_0^l 2M_1M_2 \cdot dx &= \frac{6ABq^2}{l^3} \left[\frac{l^5 x}{8} - \frac{l^4 x^2}{8} - \frac{l^3 x^3}{8} + \frac{3l^2 x^4}{8} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{13lx^5}{40} + \frac{x^6}{8} - \frac{x^7}{56l} \right]_0^l = \frac{27ABq^2 l^3}{280}, \end{aligned} \quad (6b)$$

a harmadik integrálkifejezés értéke pedig:

$$\begin{aligned} \int_0^l M_2^2 \cdot dx &= \frac{9B^2 q^2}{4l^4} \left[\frac{l^6 x}{16} - \frac{l^4 x^3}{6} + \frac{l^3 x^4}{8} + \frac{7l^2 x^5}{40} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{lx^6}{3} + \frac{3x^7}{14} - \frac{x^8}{16l} + \frac{x^9}{144l^2} \right]_0^l = \frac{107B^2 q^2 l^3}{2240}. \end{aligned} \quad (6c)$$

A (6a), (6b), (6c) értékeket az (5) képletbe betéve, a hajlítási energiára az alábbi értéket kapjuk:

$$U = \frac{q^2 l^3}{2EI} \left(\frac{A^2}{20} + \frac{27AB}{140} + \frac{107B^2}{2240} \right). \quad (7)$$

4.2. *A befogási energia*

A rúd befogó szerkezete az M_0 nyomaték hatására

$$\varphi = \frac{M_0}{c}$$

szögforgást végez. Ennek megfelelően a befogási energia

$$V = \frac{M_0 \varphi}{2} = \frac{M_0^2}{2c}.$$

Innen a (4) alatti helyettesítéssel és a

$$\varphi = \frac{A}{l}$$

összefüggés figyelembevételével a befogási energiára a

$$V = \frac{1}{2c} \left(\frac{A^2 q^2 l^2}{4} + \frac{3ABq^2 l^2}{8} + \frac{9B^2 q^2 l^2}{64} \right),$$

képlet adódik, amely egyszerűsítés után így írható:

$$V = \frac{q^2 l^2}{c} \left(\frac{A^2}{8} + \frac{3AB}{16} + \frac{9B^2}{128} \right). \quad (8)$$

4.3. *A terhelő erők munkája*

A rúdtengely kihajlásakor a rúdnak az x és $x+dx$ keresztmetszetekkel határolt dx hosszúságú elemi darabja dy/dx szöggel elfordul és ennek következtében a rúdnak a dx rúdelem feletti $(l-x)$ hosszúságú szakasza lesüllyed. A lesüllyedés mértéke, kis elmozdulásról lévén szó,

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx.$$

A lesüllyedés közben a dx rúdelem feletti $(l-x)$ hosszúságú rúdszakaszra ható $q(l-x)$ terhelő erők

$$dW = q(l-x) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx$$

elemi munkát végeznek. Az l hosszúságú rúdra ható terhelő erők által végzett teljes munka az elemi munkák integrálja:

$$W = \frac{q}{2} \int_0^l (l - x) \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx.$$

Ebben a képletben az (1) összefüggés folytán

$$\frac{dy}{dx} = \frac{A}{l} + \frac{3Bx}{l^2} - \frac{3Bx^2}{2l^3}$$

és így a terhelő erők munkája

$$W = \frac{q}{2} \left[A^2 \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{2l^2} \right) + AB \left(\frac{3x^2}{l^2} - \frac{3x^3}{l^3} + \frac{3x^4}{4l^4} \right) + \right. \\ \left. + \frac{B^2}{8} \left(\frac{24x^3}{l^3} - \frac{36x^4}{l^4} + \frac{18x^5}{l^5} - \frac{3x^6}{l^6} \right) \right]_0^l,$$

azaz

$$W = q \left(\frac{A^2}{4} + \frac{3AB}{8} + \frac{3B^2}{16} \right), \quad (9)$$

5. A kritikus teher

A kritikus teher fajlagos értéke (illetve annak egy felső korlátja) az alakváltozási energiának és a terhelő erők munkájának egyenlőségét kifejező

$$U + V = W$$

egyenletből határozható meg. Ez az egyenlet a (7), (8) és (9) alattiak behelyettesítésével így alakul:

$$\frac{q^2 l^2}{2EI} \left(\frac{A^2}{20} + \frac{27AB}{280} + \frac{107B^2}{2240} \right) + \frac{q^2 l^2}{c} \left(\frac{A^2}{8} + \frac{3AB}{16} + \frac{9B^2}{128} \right) = \\ = q \left(\frac{A^2}{4} + \frac{3AB}{8} + \frac{3B^2}{16} \right).$$

Innen a rúd kritikus terhének fajlagos értékére az alábbi képlet adódik:

$$q_{cr} = \frac{\frac{A^2}{4} + \frac{3AB}{8} + \frac{3B^2}{16}}{\frac{l^3}{EI} \left(\frac{A^2}{40} + \frac{27AB}{560} + \frac{107B^2}{4480} \right) + \frac{l^2}{c} \left(\frac{A^2}{8} + \frac{3AB}{16} + \frac{9B^2}{128} \right)}. \quad (10)$$

Az előző képlet némi átalakítással

$$q_{cr} = \frac{EI}{l^3} \cdot \frac{1120A^2 + 1680AB + 840B^2}{112A^2 + 216AB + 107B^2 + \frac{EI}{cl}(560A^2 + 840AB + 315B^2)}, \quad (10a)$$

illetve

$$q_{cr} = \frac{c}{l^2} \cdot \frac{1120A^2 + 1680AB + 840B^2}{\frac{cl}{EI}(112A^2 + 216AB + 107B^2) + (560A^2 + 840AB + 315B^2)} \quad (10b)$$

alakban írható.

A kritikus teherérték meghatározásához a (10a), illetve (10b) képletet a

$$\frac{B}{A} = z, \quad \frac{EI}{cl} = H$$

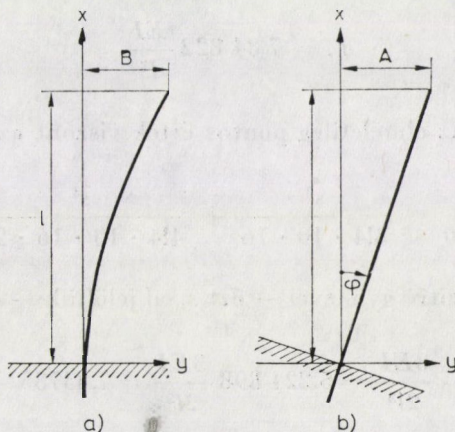
jelöléssel

$$q_{cr} = \frac{280EI}{l^3} \cdot \frac{4 + 6z + 3z^2}{(112 + 560H) + (216 + 840H)z + (107 + 315H)z^2}, \quad (11a)$$

illetve

$$q_{cr} = \frac{280c}{l^2} \cdot \frac{H(4 + 6z + 3z^2)}{(112 + 560H) + (216 + 840H)z + (107 + 315H)z^2} \quad (11b)$$

alakra hozzuk.



2. ábra. Szélsőséges esetek

Célunk annak a z értéknek a megállapítása, amellyel a (11) kifejezések minimális értékűvé lesznek. A keresett szélső érték előfeltétele:

$$dq_{cr}/dz = 0,$$

ami mindkét képlet esetében akkor teljesül, ha

$$[(112 + 560H) + (216 + 840H)z + (107 + 315H)z^2](6 + 6z) - \\ - (4 + 6z + 3z^2)[(216 + 840H) + (214 + 630H)z] = 0.$$

A kijelölt műveleteket elvégezve, a fenti egyenletet ekként egyszerűsíthetjük:

$$(3 + 315H)z^2 + (-92 + 420H)z - 96 = 0.$$

A (11) kifejezések minimumát ennek a másodfokú egyenletnek két gyöke közül a pozitív gyök szolgáltatja. Ezt a gyököt, vagyis a keresett $z = B/A$ hányadost a

$$z = \frac{92 - 420H + \sqrt{9616 + 43680H + 176400H^2}}{6 + 630H} \quad (12)$$

képlet fejezi ki. Ennek meghatározása után a kritikus teherérték, illetve annak egy felső korlátja tetszés szerint vagy a (11a), vagy a (11b) képlettel számítható.

Meg kell jegyeznünk, hogy a (12) képlet a szélsőséges $H = 0$ esetben a pontos $z = \infty$ értéktől eltérő $z = 31,676\ 866$ értékre vezet. Ez a visszasság az (1) képlet közelítő voltának a következménye és a rúd merevségi viszonyaira, valamint a kritikus teherként kiadódó erőre csökkentőleg hat. A (11a) képlettel számítható közelítő kritikus teherérték végeredményben alig tér el a pontos értéktől. A (11a) képlet ui. a $H = 0$ esetben a kritikus teherre a

$$q_{cr} = 7,84\ 822 \frac{EI}{l^3}$$

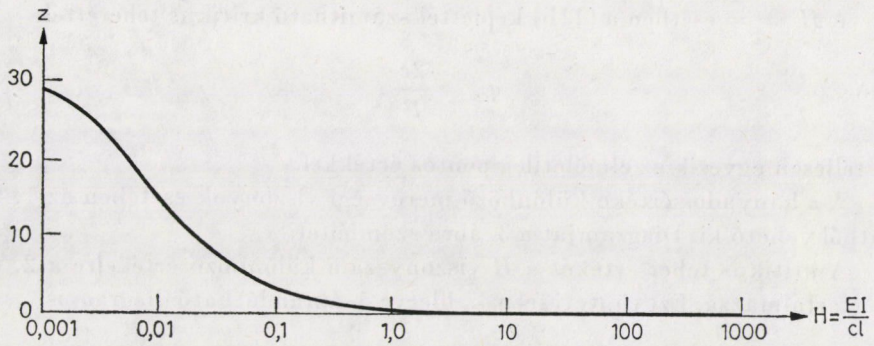
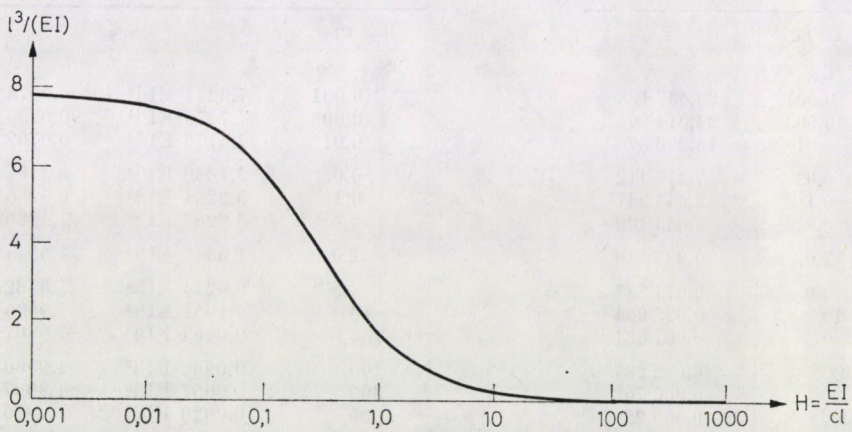
értéket szolgáltatja, az elméletileg pontos érték viszont az

$$1 - \frac{s}{1!4} + \frac{s^2}{2!4 \cdot 10} - \frac{s^3}{3!4 \cdot 10 \cdot 16} + \frac{s^4}{4!4 \cdot 10 \cdot 16 \cdot 22} - + \dots = 0$$

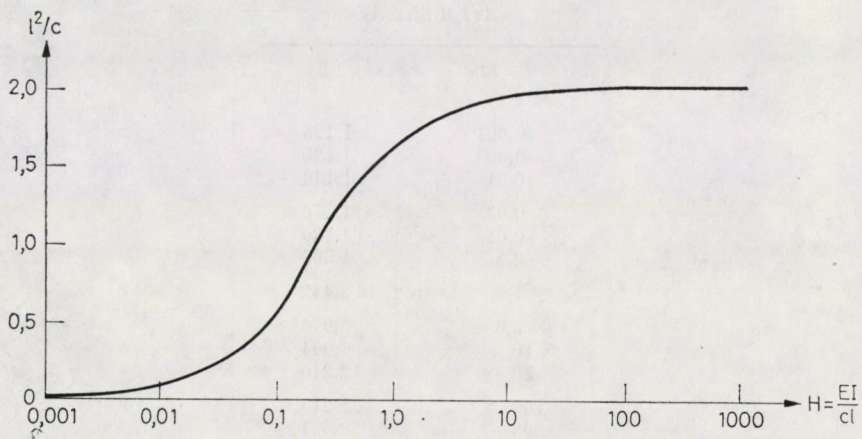
egyenlet legkisebb pozitív gyökével — ezt s_0 -al jelöljük — ekként fejezhető ki:

$$q_{cr} = s_0 \frac{3EI}{2l^3} = 5,224\ 898 \frac{3EI}{2l^3} = 7,83735 \frac{EI}{l^3}.$$

A (11a) képlettel számítható közelítő érték ennél csak 0,14%-kal nagyobb.

3. ábra. A z hányados

4. ábra. A kritikus teher diagramja



5. ábra. A kritikus teher diagramja

A $H = \infty$ esetben a (11b) képlettel számítható kritikus teherérték

$$q_{cr} = \frac{2c}{l^2},$$

ami teljesen egyezik az elméletileg pontos értékkel.

A z hányados értéke különböző merevségi viszonyok esetében az 1. táblázatból vehető ki. Diagramját a 3. ábra szemlélteti.

A kritikus teher értékét a H viszonyszám különböző értékeire a 2. táblázat tartalmazza. Ezt tünteti fel a 4., illetve 5. ábrán látható diagram is.

1. táblázat

A z hányados

$H = EI/cl$	z
0,001	28,637 188
0,003	24,014 591
0,01	15,296 876
0,03	7,417 112
0,1	2,543 347
0,3	0,833 108
1,0	0,237 840
3,0	0,077 337
10	0,022 964
30	0,007 631
100	0,002 287
300	0,000 762
1000	0,000 229

2. táblázat

A kritikus teher

$H = EI/cl$	q_{cr}	
0,001	7,8247 EI/l ³	0,0078 c/l ²
0,003	7,7779 EI/l ³	0,0233 c/l ²
0,01	7,6173 EI/l ³	0,0762 c/l ²
0,03	7,1830 EI/l ³	0,2155 c/l ²
0,1	5,9261 EI/l ³	0,5986 c/l ²
0,3	3,9267 EI/l ³	1,1780 c/l ²
1,0	1,6547 EI/l ³	1,6547 c/l ²
3,0	0,6244 EI/l ³	1,8732 c/l ²
10	0,1961 EI/l ³	1,9606 c/l ²
30	0,0662 EI/l ³	1,9867 c/l ²
100	0,0200 EI/l ³	1,9960 c/l ²
300	0,0067 EI/l ³	1,9987 c/l ²
1000	0,0020 EI/l ³	1,9996 c/l ²

3. táblázat

$Az l_0/l$ viszonyszám

$H = EI/cl$	l_0/l
0,001	1,123
0,003	1,126
0,01	1,138
0,03	1,172
0,01	1,129
0,3	1,585
1,0	2,442
3,0	3,976
10	7,094
30	12,210
100	22,214
300	38,381
1000	70,248

Végül a 3. táblázat arról tájékoztat, hogy azonos kritikus terhet feltételezve minő l_0 hosszúságú, két végén csuklós rúddal helyettesíthető a vizsgálati rúd, ha a $q_{cr}l$ teher a helyettesítő rúdon koncentrált teherként működik. Az l_0 rúdhossz a két kritikus teher egyenlőségét kifejező

$$q_{cr}l = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

összefüggésből számítható.

Köszönetnyilvánítás

A 3. táblázat közlését DULÁCSKA Endre javasolta, a táblázat értékeit is ő számította. Fáradozásáért ezúton fejezi ki köszönetét a szerző.

IRODALOM

1. TIMOSHENKO, S.: Theory of Elastic Stability. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London 1936
2. MUDRAK, W.: Die Knickbedingungen für den geraden Stab. *Der Bauingenieur* (1941), 153—
3. DULÁCSKA, E.: Die Stabilität der Bauwerke mit hochliegendem Schwerpunkt. *Acta Techn. Hung.* 53 (1966), 439—444
4. KELLER, J. B.: The Shape of the Strongest Column. *Archiv. Rat. Mech. and Anal.*, 5 (1960), 275—285
5. LIPTÁK, L.: Az egyenestengelyű, prizmatikus rúd rugalmas kihajlása, tetszőleges befogási viszonyok esetén. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* 4 (1960), 621—626
6. TADJBAKHSH, I.—KELLER, J. B.: Strongest Columns and Isoperimetric Inequalities for Eigenvalues. *J. Appl. Mech.*, 29E (1962), 159—164
7. KELLER, J. B.—NIORDSON, F. I.: The Tallest Column. *J. of Math. and Mech.* 16 (1966), 433—446

Stability of a Bar Elastically Built-in at one of its Ends. — Paper deals with a vertical prismatical bar, the lower end of which is elastically built-in, its upper end is free. The bar is subjected to uniformly distributed vertical loads. In calculating the critical load value, Timoshenko's energy method is used. As an approximation for the deflection curve of the buckled bar axis, a polynome of the third degree is taken into consideration. For the extreme case, when the lower end of the bar is stiffly built-in, the method proposed gives a nearly correct result. In the other extreme case, when the bar is completely rigid, the result is absolutely exact.

Stabilität des an einem Ende elastisch eingespannten Stabes. — Der Aufsatz beschäftigt sich mit der Knickung eines vertikalen prismatischen Stabes, dessen unteres Ende elastisch eingespannt, während sein oberes Ende ganz frei ist. Die Belastung ist ein längs der Stabachse gleichmäßig verteiltes, vertikales Kraftsystem. Der kritische Wert der Belastung wird mit Timoshenkos Energiemethode bestimmt. Die Form der ausgeknickten Stabachse wird mit einem Polygon dritten Grades approximiert. In dem Sonderfall, wo das untere Ende des Stabes fest eingespannt ist, liefert die angegebene Methode ein fast korrektes Resultat. In dem anderen Sonderfall, wo der Stab vollkommen steif ist, ergibt sich ein absolut exactes Ergebnis.

ASZFALTBURKOLATÚ UTAK ÁLLAPOTFELVÉTELE

HELYZETKÉP

IFJ. GÁSPÁR LÁSZLÓ*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

(Beérkezett: 1979. március 1-én)

A szerző ismerteti az aszfaltburkolatú utak állapotfelmérének két fokozatát. Ezek közül a részletes, kutatási célú variáns az útszakasz bejárásakor végzett szubjektív minősítés és viszonylag pontos műszerekkel történő mérés alapján történik. A gyors, üzemi célú minősítéshez pedig 20 km/ó sebességgel haladó gépkocsiból végzik az állapotjellemzést és nagyértékű, termelékeny mérőberendezések adatait hasznosítják. A javasolt módszerek a sokirányban hasznosítható útdatbank megteremtésekor nyújthatnak hasznos segítséget.

I. Bevezetés

A közúti szállítási igények rohamos növekedése az utak forgalmi terhelését számottevően növeli, ugyanakkor a forgalomban résztvevő nehéz járművek részaránya is nő. Közismert tény, hogy a burkolatrongáló hatás a járművek tengelynyomásának negyedik hatványával arányos.

Az előzőekből nyilvánvalóan következik, hogy hazánkban az úthitelek döntő többségét a meglevő úthálózat fenntartására, megerősítésére, illetve korszerűsítésére fordítják. Az útépités céljára rendelkezésre álló hitelek korlátozott mennyisége miatt kiemelkedően fontos az egyes utak korszerűsítési sorrendjének helyes megállapítása. Meglehetősen bonyolult feladat ugyanis általában két olyan régebbi, leromló állapotú útszakasz közül egyértelműen kiválasztani, hogy melyiket indokolt előbb megerősíteni vagy korszerűsíteni.

Bonyolítja a helyzetet a jelenlegi és a jövőben várható forgalmi terhelés pontos felméréseinek igénye, valamint annak a szükségessége, hogy helyesen becsüljük meg az útszakasznak a vizsgálat időpontját közvetlenül megelőző állapotromlási „sebességét”. (Egyáltalán nem közömbös ugyanis, hogy például két, pillanatnyilag közelítően azonos állapotú útszakasz közül melyik állapota fog lassabban romlani, és melyik út esetében kell esetleg egy-két éven belül a teljes tönkremeneteltől tartani).

Az előbbieket alapján nyilvánvaló, hogy a legnagyobbbrészt csak szubjektívek lehetnek azok a döntések, amelyek alapján az arra hivatott szerv kiválasztja, hogy melyik útszakasz megerősítésére, felújítására, vagy korszerű-

* Dr. Gáspár László, 1158 Budapest, Doktor S. u. 2.

sítésére biztosít hitelt. Ilyen körülmények között ezek a döntések nagyon sok esetben szuboptimálisak. Ugyanakkor közismert tény, hogy minden nem optimális döntés népgazdasági szintű veszteségnek fogható fel. Nagy a jelentősége tehát minden olyan tudományos kutatásnak, mely arra irányul, hogy az előbbieken említett döntéseket minél megalapozottabbakká tegye. Ez a cél legkézenfekvőbb módon az egyes útszakaszok minőségének (üzemszerű használhatóságának) alkalmas mérőszámmal (vagy más paraméterekkel) történő jellemzése útján érhető el. Az utak állapotáról való tájékozódás azonban nemcsak a közúti hitelösszegek legkedvezőbb felhasználási módozatainak kiválasztásához segít hozzá, hanem az útszakaszon folyó közlekedés biztonságáról és gazdaságosságáról is informál.

A következőkben összefoglaljuk az aszfaltburkolatú utak állapotfelméréssel összefüggő hazai helyzetet, elsősorban a szerző ezirányú munkássága alapján. Hangsúlyozzuk azonban, hogy az út vonalvezetésével, kapacitásával és a forgalombiztonság kérdésével itt nem foglalkozunk.

2. Az utak állapotfelmérének két fokozata

Amikor valamely út állapotának jellemzése a feladat, el kell dönteni, hogy milyen paramétereket mérjünk meg, illetve milyen szubjektív állapotbecslési eljárásokat alkalmazzunk. Az egyes állapotjellemző paraméterek meghatározására általában több módszer, illetve berendezés is szóba jöhet. A „párhuzamos” eljárások egymástól rendszerint a mérési sebesség, a felvett mérési pontok száma és az eredmények pontossága tekintetében különböznek, de sok esetben abban a vonatkozásban is nagy eltérés van közöttük, hogy a szükséges berendezések, mérőeszközök milyen mértékben állnak rendelkezésre. Egyes — általában nagy értékű és nagy termelékenységgű — mérőberendezések (Lacroix-deflektográf, SCRIM mérőkocsi, Bump Integrator) ugyanis jelenleg csak egyetlen egy vagy csak néhány példányban találhatók hazánkban, így természetesen a felmerülő igények csupán kis részének kielégítésére elegendők. Egyébként is az ezekkel mérhető burkolatparaméterek általában csak lassan változnak, így a mérések sűrű megismétlése szükséges.

Az utak állapotának felmérésére számos (tervezési, fenntartási, kutatási, statisztikai, forgalomtechnikai, stb.) ok miatt lehet szükség. A felmerülő szempontoknak a különbözősége indokolja, hogy az állapotfelmérés az említett esetekben eltérő módon folyjék le. Az állapotjellemzésnek azonban — csak a legfontosabb szempont alapján csoportosítva — két fő fokozata különböztethető meg.

a) *A részletes, főleg kutatási célú jellemzés.* Ennek során általában nagy pontossággal és igen részletesen történik az adatfelvétel. A viszonylag rövid

útszakaszon rendszerint sokféle mérést, illetve szubjektív állapotbecslést végeznek. Ezeket a méréseket a legtöbb esetben, gyakran (pl. negyed- vagy fél-évenként) megismétlik. A hosszabb időszak alatt adódó nagy adathalmazt fel lehet különböző kutatási feladatok megoldására használni, de közvetve más ütiügyi résztvevékenységek (távlati tervezés, építés, fenntartás) munkájához is nyújthatnak segítséget. Bizonyos esetekben ezt a részletes burkolatállapot jellemző eljárást akkor is alkalmazzák, ha valamely út viszonylag rövid szakaszán a gyors burkolatállapot felvételi módszerrel kimutatott lokális meghibásodásáról kell pontosabban tájékozódni, hogy kijavításához a szükséges intézkedések minél hamarabb és minél célratörőbben megtehetőek legyenek.

b) *A gyors, kevésbé részletes üzemi célú állapotjellemezés.* Ennek során általában több hosszú útszakasz állapotát kell viszonylag rövid idő alatt jellemezni. A munka célja rendszerint a közúti munkák tervezésének valamelyik fázisában áttekintő összehasonlításra, sorolásra alkalmas összkép kialakítása. (Statisztikai céllal is történhetik ilyen állapotfelvétel, amikor pl. az egész ország vagy egy megye úthálózatának egyes jellemzőiről szükséges tájékozódni). Országos körű alkalmazásuknak nemcsak az az előfeltétele, hogy az alapul vett mérőberendezések megfelelő számban rendelkezésre álljanak, hanem egyszerűek legyenek és alkalmazásuk különösebb előképzettség nélküli személyek számára könnyen elsajátítható legyen; elengedhetetlen ugyanakkor az is, hogy a szóbanforgó mérő berendezések rövid idő alatt közvetlenül felhasználható eredményt adjanak. Ez utóbbi követelmény nemcsak azért lényeges, mert — az általában rövid határidő miatt — csak gyors adatszolgáltatás esetén használhatók az eredmények közúti munkák tervezésében, hanem mivel az állapotfelvételt viszonylag hosszú idő után követő adathasznosítás esetében felmerülhet annak a veszélye, hogy a burkolatállapot időközben megváltozott és már nem a „pillanatnyi” helyzetet veszi alapul.

3. Részletes állapotfelvételi rendszer

Az elmúlt két évtizedben az utak állapotjellemezésének témakörével világszerte sokan foglalkoztak. A tárgykör a sok figyelembe veendő tényező miatt meglehetősen nehéz. A számos paraméter egyidejű hatása bonyolulttá teszi egyes változók súlyának külön-külön történő becslését. A kutatók előtt álló egyik fő lehetőség a nagyon költséges próbapálya építése és az azokon létrehozott műforgalom hatására bekövetkező állapotromlás mérése. Másik variánsként pedig a közúthálózathól bizonyos szempontok alapján kijelölt útszakaszon a tényleges közúti forgalom hatására keletkező burkolatromlás rendszeres megfigyelése kínálkozik. Az utóbbi esetben a folyamat lassabb volta miatt az időigény meglehetősen nagy. Hazánkban az anyagi eszközök ezt a második lehetőséget engedték csak meg.

3.1. *A rendszer kidolgozását megelőző kutatás*

A Közúti Közlekedési Tudományos Kutató Intézetben 1972-től kezdve hét éven keresztül a szerző témavezetése mellett végzett kutatási munka során dolgozták ki és hosszabb időn át sikerrel alkalmazták azt a burkolatállapot-felvételi rendszert, amely a pillanatnyi állapot részletes jellemzését lehetővé teszi.

Az említett cél érdekében különböző szempontok figyelembevételével közúthálózatunkból olyan útszakaszokat jelöltünk ki, amelyek az elmúlt években épültek vagy kerültek korszerűsítésre. Először a megfigyelendő útszakaszok kezdeti jellemzőit (feltárás alapján a pályaszerkezet és a földmű adatait, az építési vagy a korszerűsítési tervdokumentációk bizonyos adatait) vettük fel. Ugyanakkor történt meg az első állapotfelvétel is, amelyet évente kétszer megismételtünk. A téma művelésének legfontosabb szakaszát az útnak több éven keresztül végzett rendszeres megfigyelése képezte. A minősítő mérések eredményei alapján figyelemmel lehet kísérni az egyes útszakaszoknak — különböző ismert forgalmi terhelések hatására bekövetkező — leromlási és tönkremeneteli folyamatát.

3.2. *A kidolgozott rendszer leírása*

Az állapotfelvételi rendszer a szóbanforgó út vagy útszakasz számos minőségjellemzőjének mérésén, valamint szubjektív táblázatos állapotbecslésen alapszik.

A részletes útállapotfelvétel során a következő minőségjellemzőknek a mérésére van szükség:

- a) Hosszirányú egyenletesség
- b) Keresztirányú profil
- c) A burkolatfelület makroérdessége
- d) A burkolatfelület csúszásellenállása
- e) A pályaszerkezet teherbírása
- f) A burkolatfelületen jelentkező repedések számbavétele

ad a) A burkolat hosszirányú egyenletességét mindenegyes forgalmi sávban, az út teljes hosszában ellenőrizni kell. Erre a célra folyamatosan mérő berendezés (Bump Integrator, Cs-130 típusú készülék, UKI-67 vagy Ut-02 típusú háromkerekű hullámosságmérő berendezés stb.) használható. A mérést az úton közlekedő járművek kerekei által legjobban igénybevett burkolatsávok („keréknyomok”) valamelyikén — célszerűen a burkolatszélhez közelebb esően — kell végrehajtani. Az útszakasz felületi egyenletességének jellemzésére a különböző magasságú hullámok száma, azok hullámhossza vagy a mért hullámok amplitúdóinak az összege szolgálhat.

ad b) A keresztirányú profilmérést az út véletlenszerűen kiválasztott, de egymástól legfeljebb 500 m távolságra levő keresztmetszeteiben kell végezni. A profilmérő felvételre a keresztmetszvény torzított vonalát felrajzolni képes profilmérő (pl. a BME Geodéziai Intézet által kialakított változat) vagy ennek hiányában szintezőműszer szolgálhat. A szintezést a keresztmetszet egyes, legfeljebb 50 cm-enként felvett pontjain, mm pontossággal kell végezni. Elengedhetetlen a kétszeri (oda-vissza történő) szintezés. Periódikusan ismétlődő állapotfelvétel esetén lényeges a mérési keresztmetszvényeknek, illetve a szintezendő pontoknak maradandó megjelölése (rögzítése).

ad c) A burkolatfelület makroérdességét a profilmérési keresztmetszvények közvetlen közelében, egy-egy forgalmi sávban három-három ponton kell végrehajtani. A mérési helyeket nyomonként a két „keréknyomban” és a forgalmi sáv egyik szélén (a forgalom által legkevésbé igénybe vett helyen) kell kijelölni. A makrotextúra jellemzésére a homokterítéses módszert vagy esetleg (nagyon kis makroérdességű felületeken) a vízkifolyásos eljárást kell használni. Szükség esetén a mérési helyeket maradandóan meg kell jelölni.

ad d) A burkolatfelület csúszásviszonyait lehetőség szerint minden forgalmi sávban, az út teljes hosszában folyamatosan mérő berendezéssel (pl. SCRIM mérőkocsi) kell jellemezni. Ennek hiányában a profilmérési keresztmetszvények közvetlen közelében, minden forgalmi sávban a burkolatszélről 1,0 m távolságban angol ingás készülékkel 3—3 db mérési pontban a csúszásellenállásra jellemző SRT-értéket kell meghatározni. (A 3 db mérési pontot hosszirányban, egymástól 2,0 m-re kell kijelölni).

ad e) A pályaszerkezet teherbírását lehetőség szerint az útszakasz minden forgalmi sávjában, közelítőleg folyamatosan ellenőrizni kell. Erre a célra a Lacroix-mérőkocsi alkalmas. Billenőkaros behajlasmérő alkalmazása csak végső esetben jöhet szóba. (Ekkor is azonban minden forgalmi sávban és legalább 50 m-enként kell a pályaszerkezet behajlását meghatározni.)

ad f) A burkolatfelületen jelentkező repedések mennyiségét az útszakasz bejárásakor kell felvenni. A hossz- és keresztirányú repedések összhosszúságát — külön-külön csoportban — folyóméterben, a hálós (mozaik) repedések összterületét pedig m^2 -ben kell kifejezni.

Egyes kutatási célok érdekében más állapotjellemzők mérése is szükséges lehet. Ezek közül néhány:

- burkolat kopása (beépített mérőcsappal);
- zúzalékkipergések vagy — összetörések megszámlálása kijelölt néhány dm^2 -es burkolatfelületeken;
- a burkolat áteresztőképességének meghatározása (levegő, víz, de-naturált szesz, stb. használható a méréskor).

A részletes útállapot-jellemzésnek, a méréseken kívül, része a szubjektív állapotminősítés. (Ennek a tevékenységnek a jelentőségét az 1979. évi Bécsi Útügyi Világkongresszus is hangsúlyozta). Ekkor egy erre a célra összeállított

Szakasz:

Mérési időpont	Relatív bitumen-mennyiség	Felületi textúra	Textúra minőségi egyenletessége	Hossz-irányú deformációk	Profil-deformációk
1.	2.	3.	4.	5.	6.

1. ábra. Szubjektív

táblázat rovataiba az útszakasz bejárásakor, valamint azon járművel való elhaladáskor olyan minősítő osztályzatokat írnak, amellyel az útszakasz szemlélettel is megítélhető állapotjellemzőit, valamint azon az utazáskényelmet jellemzik.

Az 1. ábrán látható táblázatba kerülnek az 1 és 5 közötti 0,5 pontosságú osztályzatok. A táblázat kitöltéséhez a következő megjegyzések fűzhetők:

a) A „2” oszlopban a kopóréteg bitumentartalma kerül jellemzésre. Az optimálisnak tekintett, 5-ös osztályzattal minősített mennyiség a pályaszerkezet legfelső aszfaltrétegének (kopóréteg vagy érdesítőréteg) típusától függ. Ettől való mindkét irányú eltérést az osztályzat kialakításakor figyelembe kell venni.

b) A „3” oszlopban a legfelső aszfaltréteg felületének textúráját minősítik. A szemlélettel megítélhető makroérdesség és a tapintással ellenőrizhető mikoérdesség együttesen kerül osztályzásra.

c) A „4” oszlopban a legfelső aszfaltréteg textúrájának minőségi egyenletessége kerül értékelésre. Alacsony osztályzatot az a burkolat kap, amelyen különböző textúrájú felületek figyelhetők meg.

I. táblázat

Segédlet a szubjektív állapot-

Állapotjellemző	O s z t á l y -	
	5	4
Relatív bitumenmennyiség	Optimális bitumentartalom	Kismértékű egyirányú eltérés az optimumtól
Felületi textúra	Egyenletesen kedvező makro- és mikroérdesség	Közepes makro- és mikroérdesség
A textúra minőségi egyenletessége	Az egész felületen egyforma textúra	Csak a „keréknyomokban” kisebb kopott felület
Hosszirányú deformációk	Szemlélettel hosszirányú deformáció nem figyelhető meg	Kisebb hosszirányú deformáció (a szegélyvonalból megítélhetően)

Időjárás:

Minősítő személy(ek):

Mozaik-repedések	Vonalas repedések	Burkolatszél állapota	Padka állapota	Összesített állapot-értékelés	Utazáskényelmi értékelés
7.	8.	9.	10.	11.	12.

útállapot-értékelő űrlap

d) Az „5” oszlopban a burkolatfelületének szemlélettel megfigyelhető hosszirányú deformációját minősítik. Az alakváltozások nagysága, előfordulásának sűrűsége és helye játszik az osztályzat kialakításakor szerepet.

e) A „6” oszlopba a keresztirányú profildeformációkra adott osztályzat kerül. Az építési hiba vagy a forgalom hatásaira (utántömörödés, felgyűrődés, kopás, stb.) bekövetkezett profiltorzulások mértékét minősítik.

f) A „7” oszlopba a felületen látható mozaikrepedések (hálós repedések, alligátorbőr repedések) mennyiségét értékelő osztályzatot kell írni. Ezen repedéstípus mennyisége, valamint a repedések megnyílása alapján kell a minősítést elvégezni.

g) A „8” oszlopba a vonalas (hossz-, kereszt- és ferdeirányú) repedések mennyiségét értékeljük, azoknak a burkolatfelületen elfoglalt helyét is figyelembe véve.

h) A „9” oszlopba a burkolaton (cementbeton szegélyen vagy a felfestett szegélyen és az azon kívüli burkolatsávon) észlelhető állapot kerül minősítésre. A függőleges és a vízszintes vonalvezetés, az esetleges letöredezések, repedések játszanak az osztályzat kialakításakor szerepet.

jellemzők osztályozásához [1]

z a t o k

3	2	1
Kismértékű, de különböző irányú eltérés az optimumtól	Bitumenes foltok vagy nagyobb kipergő felületek	Balesetveszélyesen síkos felület
Közepes makro- és kis mikro-érdesség	Erősen lekopott felület	Felületi textura nem figyelhető meg (túlnyomóan habarcsos felület)
Csak a „keréknyomokban” erősen kopott felület	Egymástól erősen elütő texturájú nagyobb felületek	Szabálytalanul, szélsőértékek között változó textura
Hosszirányú deformációk (a felezővonalból megítélhetően)	A burkolatfelületen észlelhető hosszú hullámok (sűrű előfordulás)	A burkolat felületén észlelhető rövid hullámok (sűrű előfordulás)

II. táblázat

Segédlet a szubjektív állapot-

Állapotjellemző	O s z t á l y -	
	5	4
Profildeformáció	Szemlélettel nincs profildeformáció jele	Hosszirányú összedolgozás nem megfelelő szintben történt
Mozaikrepedések	Nincs mozaikrepedés a felületen	Egy helyen max. 1 m ² -es mozaikrepedés
Vonalas repedések	Nincs a felületén vonalas (hossz-, kereszt- vagy ferdeirányú repedések)	A tengelyben rövidebb repedések

i) A „10” oszlopban a padka állapotát (szintjét, esését, szilárdságát, esetleges keréknyomait, a rajta levő növényzetet stb.) értékelő osztályzat szerepel.

j) A „11” oszlopba az az osztályzat kerül, amely az útszakasz bejárásakor annak szemlélettel megállapítható összesített állapotát értékeli. Ez a komplex számérték azt fejezi ki, hogy a szóbanforgó út milyen mértékben elégíti ki az

III. táblázat

Segédlet a szubjektív állapot-

Állapotjellemző	O s z t á l y -	
	5	4
Burkolatszél állapota	A burkolatszél (szegély) ép és a középvonallal párhuzamos	A burkolatszél (szegély) ép, de kissé görbe, és/vagy a felfestett szegély kopott
Padka állapota	A padka szintje és esése terv szerinti, max. 8 cm magas növényzettel	A padka szintje és esése közelítőleg terv szerinti, növényzete 8 cm-nél magasabb
Összesített állapotértékelés	Kiváló útállapot	Jó útállapot
Utazáskényelmi értékelés*	Nem kényelmetlen 80 km/ó sebesség mellett az utazás	Csak kissé kényelmetlen 80 km/ó sebesség mellett

* *Megjegyzés!* Településen belüli szakaszon 50 km/ó mérési sebesség értendő a táblázat 80 km/ó sebessége helyett.

jellemzők osztályozásához [2]

z a t o k		
3	2	1
Több helyen kisebb keréknyomvályúk	Az egyik sávon mély keréknyomvályúk	Mindkét sávban hosszú és mély keréknyomvályúk
Sok, max. 1 m ² -es vagy néhány több m ² -es mozaikrepedés	Több m ² -es repedések átlag 50—200 m-enként	Legalább átlag 50 m-enként több m ² -es mozaikrepedés
A sávon belül ritka, kiöntött repedések	A sávon belül nem gyakori kiöntetlen repedések	A sávban gyakori (min. átlag 30 m-enként) kiöntetlen repedések

azt használók vele szemben támasztott igényeit. (Ebben az osztályzatban a „2”–„10” oszlopokba került számértékek szubjektíven súlyozott mértékben jelentkeznek).

k) A „12” oszlopban a minősítendő úton adott (célszerűen lakott területen 50 km/ó, külső szakaszokon 80 km/ó) sebességgel haladó gépkocsiban ülő személy által adott utazáskényelmi osztályzat kerül. Az értékelő személy

jellemzők osztályozásához [3]

z a t o k		
3	2	1
A burkolatszél (szegély) helyenként letöredezett (törött) és/vagy vonala görbe	A burkolatszél (szegély) az összhossz mintegy 30—70%-ában összetört, repedezett	A burkolatszél (szegély) majdnem mindenhol összetört, repedezett
Közelítőleg vízszintes és/vagy kissé magas és/vagy kissé keréknyomos padka a jellemző	Befelé lejtő és/vagy laza és/vagy max. 5 cm-rel a szélességesnél alacsonyabb és/vagy erősen keréknyomos padka a jellemző	Balesetveszélyesen alacsony padka (5 cm-nél nagyobb padkalépcső) jellemző
Közepes útállapot	Rossz útállapot	Elfogadhatatlan útállapot
Nagyon kényelmetlen rázós 80 km/ó sebesség mellett	Legfeljebb 50 km/ó sebességgel járható útszakasz	Legfeljebb 20 km/ó sebességgel járható útszakasz

a jármű haladása közben a ráható különböző irányú gyorsulások (rázások) alapján minősít. Mivel a szubjektív utazáskényelmi értékelést erősen befolyásolja az alkalmazott gépkocsi rugózása is, így két osztályzat összehasonlítása reális alapon csak abban az esetben történhetik meg, ha ugyanazt a gépkocsit használták fel a minősítéskor.

Az I., a II. és a III. táblázat az egyes oszlopokba kerülő osztályzatokhoz ad útmutatást. A táblázatban körülírt állapotok közötti átmenetet félosztályzattal (pl. 3,5) lehet értékelni.

Előnyös, ha a részletes útállapot-felvételt egyidőben több személy végzi és az általuk adott minősítő osztályzatok átlaga kerül be az űrlap egyes oszlopaiba.

4. Üzemi célú állapotfelvételi rendszer

Az utak állapotának gyors áttekintési és összehasonlítási célokra alkalmas jellemzése szintén mérések és szubjektív állapotbecslés segítségével lehetséges. Az erre a célra alkalmas nagy termelékenységgű mérőberendezések hiányában azonban — összehasonlító vizsgálatok eredményei szerint — jó közelítéssel elfogadható a kizárólag szubjektív állapotbecslésen alapuló egyszerűsített eljárás is.

4.1. Egyszerűsített módszer

Az útállapot szubjektív alapon történő gyors minősítése úgy történik, hogy a kis sebességgel (20 km/ó) haladó mérőkocsiban ülő, ebben a tekintetben kioktatott személy (vagy személyek) az út minden egyes 200 fm hosszú szaka-

IV. táblázat
Segédlet az üzemi célú útállapot-

Jellemzés tárgya	Átlagos napi forgalom	Minősítő	
		5	4
Burkolat	3000 E/napfelett	Egyenletes minőségű felület, romlások, repedések nincsenek	Helyenként lazább szövettű részek, kisebb zuzalékkipergés
	3000 E/nap vagy alatta	Egyenletes, a burkolat fajtájának megfelelő minőségű felület	Kisebb-nagyobb izzadt vagy fészkes felületek vagy hajszálrepedések
Padkák és árkok	Minden forgalmi kategóriában	Megfelelő nagyságú, kellő oldal-esésű, egyenletes felületű padka, teljes árokszelvény	Megfelelő magasságú, kellő oldalesésű, helyenként keréknnyomos padka, kissé feliszapolódott árok

szát két osztályzattal jellemzik. Az egyik osztályzat a burkolatfelületet, a másik pedig a padkát, illetve a vízelvezető rendszert minősíti. A IV. táblázat az 1 és 5 közötti osztályzáshoz nyújt segítséget.

A táblázathoz és a minősítés módjához a következő megjegyzések fűzhetők:

a) A burkolatfelület állapotjellemzésekor az út forgalmi terhelésétől is függenek a minősítő osztályzatok. A 3000 E/nap átlagos napi forgalom, mint határérték közelítőleg a főutak és az alsóbbrendű utak szétválasztására szolgál. A padkák és az árkok állapotának jellemzésekor a minősítési kritériumok az út forgalmától függetlenek.

b) A IV. táblázat csak a legfontosabb paraméterek minőségszintjét írja szavakban körül. Ha a meghibásodások bonyolultabb formában, szövevényesebben jelentkeznek, a minősítés megnehezedik.

c) A „padkák és árkok” címszó alatt az utak vízelvezető rendszerének az a része kerül minősítésre, amely a lassan haladó gépkocsiban ülő személyek által megítélhető.

A 200 m-es értékelési szakaszhoz az a 20 km/ó sebességgel haladó gépkocsi 36 mp alatt teszi meg. Elegendő idő áll rendelkezésre az útállapot megfigyeléséhez és az osztályzatok leírásához. Az egyes szakaszok végpontját az útmenti hektométeroszlopok jelzik. Ezek hiányában az időköznek (36 mp) stopperórával való mérése indokolt.

Forgalombiztonsági okok miatt a teljes mérés időtartama alatt elengedhetetlen a gépkocsi tetején a villogó sárga fény működtetése.

A minősítő osztályzatok alapján az értékelt utakat burkolatuk, valamint vízelvezető rendszerük állapota szempontjából olyan homogén szakaszokra

jellemzéskor végzendő osztályozáshoz

o s z t á l y z a t

3	2	1
Rövidebb és viszonylag ritka repedések vagy kezdődő kátyúk	Viszonylag gyakori repedések, kátyúk, deformációk	Gyakori mozaikrepedések, deformációk, ütkátyúk
Az utazáskényelmet kis mértékben csökkentő repedések, izsadt felületek, kisebb kátyúk vagy deformációk	Kátyús vagy repedezett felületek	Erősen kátyús, egyenetlen felület, 20 km/ó sebesség mellett is kényelmetlen
Magas vagy közel vízszintes padka, felszervényig feliszapolódott árok	Alacsony padka (3–6 cm-rel a burkolat szintje alatt), hiányos vízelvezetés, feliszapolódott árok	Veszélyesen alacsony padka, (napokkal eső után is pang a víz a padkán) nagyon laza, tömörítetlen padka, feliszapolódott árok

V. táblázat

Az 5. út 169 + 000 és 174 + 200 km szelvényei között végzett szubjektív állapotminősítés eredményei

Útszakasz	Burkolatállapot szakasz		Vízvezetés állapota szakasz	
	Egyedi	Homogén	Egyedi	Homogén
osztályzat				
169+000–169+200	4	4,0	—	—
169+200–169+400	4		—	—
169+400–169+600	2	2,5	—	—
169+600–169+800	3		—	—
169+800–170+000	3		—	—
170+200–170+400	2		—	—
170+400–170+600	2	4,0	—	—
170+600–170+800	4		—	—
170+800–171+000	4		—	—
171+000–171+200	4		—	—
171+200–171+400	4		3	3,5
171+400–171+600	4		3	
171+600–171+800	4		4	
171+800–172+000	4		3	
172+000–172+200	4		4	4,5
172+200–172+400	4		4	
172+400–172+600	4		4	
172+600–172+800	4		4	
172+800–173+000	4	4,0	3	4,5
173+000–173+200	4		3	
173+200–173+400	4		4	
173+400–173+600	4		4	
173+600–173+800	4		5	4,5
173+800–174+000	4		5	
174+000–174+200	4		4	

kell osztani, amelyeket egyetlen egész vagy fél osztályzat jellemez. Az V. táblázat példaként az 5. út egyik szakaszán végzett állapotfelvétel adatsorát, valamint az itt kapott homogén szakaszokat mutatja be. (A 169+000 és a 171+200 km szelvények között, belterületen a kiemelt szegély miatt a vízvezetés helyzete nem került minősítésre.)

4.2. Komplex módszer

Az útállapot komplex értékelésekor a 4.1 pontban leírt szubjektív minősítésen túlmenően a pályaszerkezet teherbírását és a burkolatfelület egyenetlenségét is mérni kell. Erre a célra csak nagytermelékenységű, ugyanakkor meglehetősen költséges mérőberendezések jönnek szóba, mivel a gyors mérés és az eredmények rövid időn belül végrehajtható kiértékelése alapvető követelmény. A teherbírás mérésére a Lacroix-mérőkocsi (ennek hiányában az MSZ 2509 szerinti behajlásmérés), a felületi egyenetlenség vizsgálatára pedig a Bump Integrator alkalmas.

A teherbírás megfelelőségét 10 éves időszakra számítjuk. A teherbírás akkor megfelelő, ha a Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása (a továbbiakban: HUMU) szerinti mértékadó behajlás és a 10 éves időszak összesített forgalma kielégíti a HUMU 2. ábráján megadott F_{10} és S határértékeket. A megfelelőség %-ban kifejezve:

$M\%$	Pontérték
≥ 111 (3J, 2J)	5
81–110 (1J)	4
61–80 (IR)	3
51–60 (2R)	2
≤ 50 (3R)	1

ahol

$$M\% = (S/S_m)100$$

S = a megengedhető behajlás a HUMU 2. ábrája szerint

S_m = a vizsgált szakasz mértékadó behajlása a HUMU 4. ábrája szerint

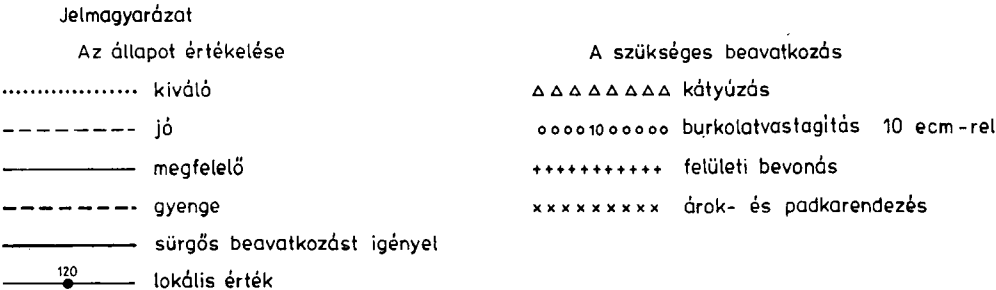
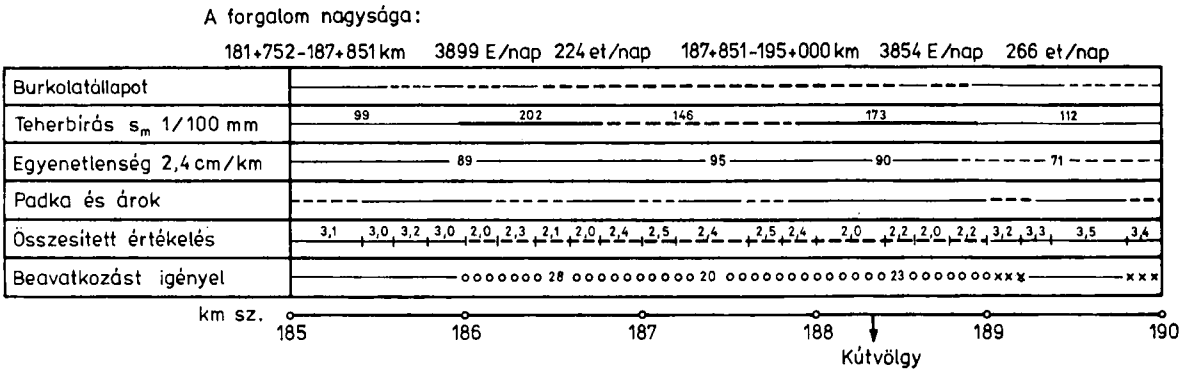
A Bump Integrátorral cm/km mértékegységben kapott elmozdulásösszeg, valamint az út forgalmi terhelése alapján az egységes léptékbe történő átszámítás a következők szerint történik:

ÁNF (E/nap)	Bump Integrátor elmozdulásösszeg (cm/km)					
	–150	151–199	200–290	291–380	381–440	441–
3000 felett	5	4	3	2	1	1
3000 alatt	5	5	4	3	2	1

Az összesített mérőszám meghatározásához használt tényezők az egyes állapotjellemző paraméterekkel kapcsolatosan felmerülő fenntartási költségeket tükrözik. Valamely adott hosszúságú útszakaszon az egyes paraméterek egy osztályzatnyi javításához szükséges útfenntartási munka (burkolat-erősítés, árok- és padkarendezés stb.) költségei közötti arányok figyelembevételével a választott, de a gyakorlat által még nem igazolt súlyozó tényezők a következők:

– az útburkolat állapota	2
– a pályaszerkezet teherbírása	4
– az útburkolat egyenetlensége	3
– padkák, árkok állapota	1

Az állapotjellemzőket vonalrajzszerűen célszerű ábrázolni (2. ábra). A megfelelőségi fokozatokat különböző vonalozás (vagy színezés) szemléltetheti. A vonalrajzon a behajlásokat és a Bump Integrátor szolgáltatja számértékeket is fel kell tüntetni. Ha valamelyik tényező megjavítása azonnali beavatkozást igényel, akkor azt a vonalrajzon még akkor is jelezni kell, ha a többi



2. ábra

tényező megfelelő állapotra utal. Ahol a súlyozott pontérték 3,0-nál kisebb, valamilyen beavatkozásra (általában burkolatvastagításra) szükség van.

Ez a komplex mérőszám lehetőséget nyújt egy-egy út vagy akár egy igazgatósági úthálózat összesített megfelelőségének számszerű kimutatására.

5. Az adatok nyilvántartása

Mind a részletes, mind pedig a gyors útállapotfelvétel során kapott adatok központi nyilvántartásáról gondoskodni kell. Ennek érdekében az említett adatokat, célszerűen rendszerezett formában, tárolni kell, hogy a közeljövőben létesítendő útatadbankba kerülhessenek. Az ott összegyűlt adathalmaz sok műszaki-gazdasági feladat megoldásakor (kutatási feladatok, szabványok, módosítása, új technológiák megítélése, stb.) nyújt majd rendkívül hasznos segítséget.

6. Néhány hasznosítási lehetőség

Az 1979. év folyamán elkezdődött az országos közúthálózat megfelelőségének vizsgálata. Ennek a kiterjedt munkának egy részét képezi a burkolat minőségének jellemzése, amelynek során az előbbieken leírt módszerek is felhasználásra kerültek.

A rendszeres állapotfelveledek eredményei segítségével olyan idősorokhoz lehet jutni, amelyeknek extrapolálása útján az utak várható élettartama megbecsülhető. Ez utóbbi információ pedig műszaki-gazdasági szempontból nagyon jelentős.

IRODALOM

1. Ifj. GÁSPÁR László: Aszfaltburkolatú utak állapotjellemezése és élettartama. Kandidátusi disszertáció. 1978
2. NEMESDY Ervin: Utak és autópályák pályaszerkezete. Budapest 1971
3. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezési utasítása, 1971
4. Ifj. GÁSPÁR László: Aszfaltburkolatú utak állapotának jellemzése. *Közlekedéstudományi Szemle* (1978), 5. szám
5. Útállapot-jellemző paraméterek meghatározása, felvétele és értékelési módszereinek kidolgozása. KÖTUKI KIT. 7. sz. téma 1977. (Témafelelős: BOROMISZA Tibor)
6. Ifj. GÁSPÁR László—TAKÁCH Gyula—TÖRÖK Kálmán: Beszámoló az útmegfigyelés kezdeti eredményeiről. *Mélyépítéstudományi Szemle* (1978), 3. szám
7. Ifj. GÁSPÁR László—TAKÁCH Gyula: Langzeitbeobachtung von Fahrbahndecken ausgewählter Strassenabschnitte in der Ungarischen Volksrepublik. *Die Strasse* (1976), 6
8. The AASHO Road Test. Highway Research Board Special Report 61. C. 1962
9. TÓTH Ernő: Útállapot mérési módszerei. *Mélyépítéstudományi Szemle* (1975), 9. szám
10. CAREY, W. N.—IRICK, P. E.: The pavement serviceability-performance concept. *Highway Research Board, Bulletin* 250 (1960)
11. Aszfaltburkolatok állapotfelvelele és élettartama. KÖTUKI 83—10. téma zárójelentése, 1978. (Témafelelős: ifj. GÁSPÁR László)

State Evaluation of Roads of Bituminous Pavement. — Two different ways of the state evaluation of roads are presented. One of them is the method estimating the state of the road in details with the objective of research investigation which implies the subjective qualification by a tour of inspection and by measurements using comparatively precise instruments. The second variant is a rapid evaluation of practical interest carried out by travelling in a motor car running with a speed of 20 km/h, and making use of measurement results of efficient measuring instruments of high precision value. The proposed methods can usefully help in creating a road data bank for to be used for various applications.

Zustandsaufnahme mit Asphaltbelag bedeckter Straßen. — Zweierlei Methoden der Zustandsauswertung mit Asphaltbelag bepflasterten Straßen werden beschrieben. Bei der ersten, ausführliche Resultate ergebenden, forschungsbezweckten Variante der Zustandsaufnahme der Straße wird aufgrund einer im Laufe des Begehens der Straßenstrecke bei Benutzung Instrumente verhältnismäßig scharfer Meßgenauigkeit vollgeführten Auswertung durchgeführt. Zur raschen, die Betriebszwecke dienenden Auswertung wird die Charakterisierung des Straßenzustands in einem mit einer Geschwindigkeit von 20 km/St. fahrenden Personewagen ausgeführt, wobei Angaben von hochwertigen produktiven Meßgeräte gebraucht werden. Die vorgeschlagenen Methoden können zur Herstellung einer für mehrere Zwecke brauchbaren Datenbank für Straßen eine nützliche Hilfe leisten.

NÉHÁNY ENERGIATÉTEL A RUGALMAS TESTEK DINAMIKÁJÁBAN

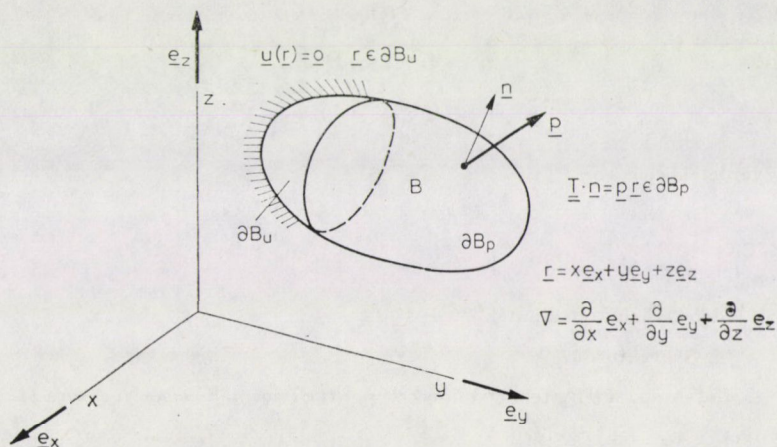
ECSEDI ISTVÁN*

[Beérkezett: 1979. december 18-án]

A tanulmány lineárisan rugalmas anyagú kontinuumok harmonikus gerjesztéshez tartozó kerületi érték feladatával kapcsolatban néhány új tételt ismertet. A dinamikus és statikus terhelésekhez tartozó hajlékonyságokra vonatkozó egyenlőtlenségi relációt a Z. Mőz-minimum tételének alkalmazásával bizonyítja. A tanulmány egy új fogalmat is értelmez, amely harmonikus gerjesztés esetében hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint statikus terhelés esetében az alakváltozási energia.

1. Bevezetés

Tekintsük az 1. ábrán vázolt lineárisan rugalmas anyagú kontinuumot, melynek tömegeloszlása a $\rho = \rho(\mathbf{r})$ sűrűséghelyvektor függvénnyel adott. A kontinuum ∂B határoló felületének ∂B_u peremszakaszán az $\bar{\mathbf{u}} = \bar{\mathbf{u}}(\mathbf{r}, t)$ elmozdulás vektor zérus értékűre előírt: $\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{0} \text{ } \mathbf{r} \in \partial B_u$. A ∂B felület ∂B_p felületszakaszán $\bar{\mathbf{p}} = \bar{\mathbf{p}}(\mathbf{r}) \cos \alpha t$ sűrűségű felületi terhelés, a kontinuum tér-



1. ábra. Lineárisan rugalmas anyagú test

* Dr. Ecsedi István 3531 — Miskolc, Vászonfehérítő u. 24. IV/1.

fogatán pedig $\bar{\mathbf{q}} = \mathbf{q}(\mathbf{r}) \cos \alpha t$ sűrűségű térfogati erőrendszer működik. Az előbbieikben t az időt, α pedig a terhelés körfrekvenciáját jelöli.

A rugalmasságtan szokásos feltevéseit alkalmazzuk:

1. az elmozdulások és az alakváltozások kicsinyek;
2. az anyag lineárisan rugalmas;
3. a hőhatások és a kezdeti feszültségek elhanyagolhatók.

A felsorolt feltevések következménye, hogy az

$$\bar{\mathbf{u}} = \mathbf{u}(\mathbf{r}, t), \quad \bar{\boldsymbol{\varepsilon}} = \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{r}, t), \quad \bar{\mathbf{T}} = \mathbf{T}(\mathbf{r}, t)$$

elmozdulásvektor, alakváltozási tenzor, feszültségi tenzor az alábbi alakban írhatók, ha eltekintünk a sajátlengésektől:

$$\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{u}(\mathbf{r}) \cos \alpha t,$$

$$\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}(\mathbf{r}, t) = \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{r}) \cos \alpha t,$$

$$\bar{\mathbf{T}} = \mathbf{T}(\mathbf{r}) \cos \alpha t.$$

A feladat lényegében az $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{r})$ elmozdulás vektor amplitúdó, $\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{r})$ alakváltozási tenzor amplitúdó $\mathbf{T} = \mathbf{T}(\mathbf{r})$ feszültségi tenzor amplitúdó meghatározására redukálódik.

Pusztán a helyvektortól függő amplitúdófüggvények a következő kerületiérték feladattal hozhatók kapcsolatba: ([1], [3]):

$$\mathbf{T} \cdot \nabla + \mathbf{q} + \alpha^2 \rho \mathbf{u} = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in B, \quad (1)$$

$$\mathbf{T} \cdot \mathbf{n} = \mathbf{p} \quad \mathbf{r} \in \partial B_p, \quad (2)$$

$$2\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{u} \nabla + \nabla \mathbf{u} \quad \mathbf{r} \in B, \quad (3)$$

$$\mathbf{u} = 0 \quad \mathbf{r} \in \partial B_u, \quad (4)$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{C} : \boldsymbol{\varepsilon} \quad \mathbf{r} \in B. \quad (5)$$

A fenti egyenletekben

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{e}_x + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{e}_y + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{e}_z$$

a Hamilton-féle differenciál operátor

x, y, z derékszögű koordináták,

$\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ egységvektorok,

$\mathbf{n} = n_x \mathbf{e}_x + n_y \mathbf{e}_y + n_z \mathbf{e}_z$ a ∂B_p felület szakasz P pontbeli normális egységvektora (1. ábra)

$\mathbf{r} = x \mathbf{e}_x + y \mathbf{e}_y + z \mathbf{e}_z$ helyvektor,

$\parallel \circ \parallel$ a skaláris szorzás jele,

$\mathbf{u} \nabla$ és $\nabla \mathbf{u}$ az \mathbf{u} és ∇ vektorok diadikus szorzatai,

\mathbf{C} az anyagállandók negyedrendű izotrop, szimmetrikus tenzora, az úgynevezett Hooke-féle tenzor.

Megjegyzendő az anyag homogenitását rugalmasság tekintetében sem követeljük meg, vagyis \mathbf{C} függhet a helyvektortól is.

A tanulmány néhány tételt ismertet az (1), (2), (3), (4), (5) egyenletek által kijelölt kerületiérték feladat megoldásával kapcsolatban.

2. Néhány definíció és tétel

2.1 A $\tilde{k} = (\tilde{\mathbf{u}}, \tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}, \tilde{\mathbf{T}})$ rendezett hármas által meghatározott állapotot, ahol az

$$\tilde{\mathbf{u}} = \tilde{\mathbf{u}}(\mathbf{r}), \quad \tilde{\boldsymbol{\varepsilon}} = \tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}(\mathbf{r}), \quad \tilde{\mathbf{T}} = \tilde{\mathbf{T}}(\mathbf{r})$$

mezők a (3), (4), (5) egyenleteket kielégítik, *kinematikailag megengedett állapotnak* nevezzük.

2.2. Az (1), (2), (3), (4), (5) egyenleteket kielégítő

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{r}), \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{r}), \quad \mathbf{T} = \mathbf{T}(\mathbf{r})$$

mezők által meghatározott $e = (\mathbf{u}, \boldsymbol{\varepsilon}, \mathbf{T})$ rendezett hármast a *kontinuum egyensúlyi állapotának* nevezzük.

2.3 A módosított alakváltozási energiát a következő kifejezés értelmezi:

$$A(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} \int_B \boldsymbol{\varepsilon} : \mathbf{C} : \boldsymbol{\varepsilon} dB - \frac{1}{2} \alpha^2 \int_B \varrho \mathbf{v}^2 dB. \quad (6)$$

2.4 Jelölje Λ az előzőekben vizsgált ∂B_u felületszakaszon „befalazott” rugalmas test szabad rezgésének legkisebb saját frekvenciáját.

A Rayleigh-hányados minimum tulajdonságából következik, hogy bármely nem azonosan eltűnő, a (4) homogén kinematikai peremfeltételt kielégítő $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{r})$ vektormezőn fennáll a

$$\int_B \text{def } \mathbf{v} : \mathbf{C} : \text{def } \mathbf{v} dB \geq \Lambda^2 \int_B \varrho \mathbf{v}^2 dB \quad (7)$$

egyenlőtlenségi reláció, ahol

$$\text{def } \mathbf{v} = \frac{1}{2} (\mathbf{v} \nabla + \nabla \mathbf{v}). \quad (8)$$

Legyen $\alpha < \Lambda$. A nyilvánvaló

$$\Lambda^2 \int_B \varrho \mathbf{v}^2 dB \geq \alpha^2 \int_E \varrho \mathbf{v}^2 dB \quad (9)$$

egyenlőtlenség, és a (7) egyenlőtlenség kombinálásával azt kapjuk, hogy

$$A(\mathbf{v}) = \frac{1}{2} \int_B \text{def } \mathbf{v} : \mathbf{C} : \text{def } \mathbf{v} \, dB - \frac{1}{2} \alpha^2 \int_B \varrho \mathbf{v}^2 \, dB > 0. \quad (10)$$

A (10) egyenlőtlenség szerint $A = A(\mathbf{v})$ pozitív definit kvadratikus funkcionál, ha az $A(\mathbf{v})$ értelmezési tartományának elemei a (3) homogén kinematikai peremfeltételt kielégítő vektormezők.

2.5 A kinematikailag lehetséges állapotok halmaza (a vektor összeadást és a valós számmal való szorzást a szokásos értelemben végezve) lineáris teret alkot.

2.6 Az alábbi

$$\Pi(\tilde{\mathbf{u}}) = A(\tilde{\mathbf{u}}) - \int_B \mathbf{q} \cdot \tilde{\mathbf{u}} \, dB - \int_{\partial B_p} \mathbf{p} \cdot \tilde{\mathbf{u}} \, d\partial B \quad (11)$$

előírással értelmezett funkcionál stationaritási feltétele egyenértékű az (1), (2), (3), (4), (5) egyenletek által kijelölt kerületiérték feladattal, ha a Π funkcionál értelmezési tartományát a kinematikailag megengedett állapotok alkotják ([1], [6]).

Könnyen kimutatható a (10) egyenlőtlenség felhasználásával, hogy az egyensúlyi állapotnak megfelelő $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{r})$ megoldásnál, ha $\alpha < A$, a Π funkcionálnak abszolút minimuma van, azaz

$$\Pi(\mathbf{u}) \leq \Pi(\tilde{\mathbf{u}}). \quad (12)$$

A (12) egyenlőtlenségi reláció igazolása Z. Mróztól származik [17]. Egydimenziós kontinuumra a (12) egyenlőtlenségi reláció felismerése L. J. Icerman nevéhez fűződik [4].

2.7 Az A (\mathbf{v}) funkcionálnak a következő homogenitási tulajdonsága van:

$$A(\lambda \mathbf{v}) = \lambda^2 A(\mathbf{v}). \quad (13)$$

2.8 A Gauss-féle integrálátalakítási tétel és a szorzatfüggvény deriválási szabályának az együttes alkalmazásával kimutatható, hogy két különböző egyensúlyi állapothoz tartozó mezők esetében fennállnak az alábbi egyenletek, feltéve, hogy a terhelések körfrekvenciái megegyeznek:

$$\int_B \mathbf{T}_1 : \boldsymbol{\epsilon}_2 \, dB = \alpha^2 \int_B \varrho \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{u}_2 \, dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{u}_2 \, d\partial B + \int_B \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{u}_2 \, dB, \quad (14)$$

$$\int_B \mathbf{T}_2 : \boldsymbol{\epsilon}_1 \, dB = \alpha^2 \int_B \varrho \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{u}_2 \, dB + \int_B \mathbf{q}_2 \cdot \mathbf{u}_1 \, dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_2 \cdot \mathbf{u}_1 \, d\partial B. \quad (15)$$

Minthogy

$$\int_B \mathbf{T}_2 : \boldsymbol{\epsilon}_1 \, dB = \int_B \mathbf{T}_1 : \boldsymbol{\epsilon}_2 \, dB \quad (16)$$

a (14), (15) egyenletekből az alábbi tétel (felcserélhetőségi reláció) következik:

$$\int_B \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{u}_2 dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{u}_2 d\partial B = \int_B \mathbf{q}_2 \cdot \mathbf{u}_1 dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_2 \cdot \mathbf{u}_1 d\partial B. \quad (17)$$

Megjegyzendő, hogy jóval általánosabb felcserélhetőségi relációk is ismertek a rugalmas testek dinamikájában [5].

2.9 Legyen

$$A(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) = \int_B \mathbf{T}_1 : \boldsymbol{\epsilon}_2 dB - \alpha^2 \int_B \varrho \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{u}_2 dB, \quad (18)$$

ahol $\mathbf{u}_1, \mathbf{T}_1$ és $\mathbf{u}_2, \mathbf{T}_2$ két különböző egyensúlyi állapothoz tartozó mezőket jelöl. Az előbbieket szerint nyilván

$$A(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) = A(\mathbf{u}_2, \mathbf{u}_1), \quad (19)$$

$$A(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} A(\mathbf{u}, \mathbf{u}). \quad (20)$$

3. Összehasonlítási tétel

3.1 Legyen $\alpha < 1$. Tekintsük a $\mathbf{p}_1, \mathbf{q}_1$ és a $\mathbf{p}_2, \mathbf{q}_2$ terhelés amplitúdókhoz tartozó egyensúlyi állapotokat.

Tétel. Fennáll az alábbi két egyenlőtlenségi reláció:

$$A(\mathbf{u}_1) \geq A(\mathbf{u}_2) + \int_B \mathbf{u}_2 \cdot (\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_2) dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{u}_2 \cdot (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2) d\partial B, \quad (21)$$

$$A(\mathbf{u}_1) \geq A(\mathbf{u}_2) + \int_B \mathbf{q}_2 \cdot (\mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_2) dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_2 \cdot (\mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_2) d\partial B. \quad (22)$$

Bizonyítás. Az $\alpha < 1$ feltételből következik, hogy a módosított alakváltozási energia nem negatív, így nyilván

$$A(\mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_2) \geq 0. \quad (23)$$

A (23) egyenlőtlenség részletes kifejtésével írhatjuk, hogy

$$A(\mathbf{u}_1) \geq -A(\mathbf{u}_2) + A(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2). \quad (24)$$

A (18), (19), (20) egyenletek felhasználásával könnyen ellenőrizhetjük, hogy

$$\begin{aligned} -A(\mathbf{u}_2) + A(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) &= A(\mathbf{u}_2) + A(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) - 2A(\mathbf{u}_2) = \\ &= A(\mathbf{u}_2) + \int_B \mathbf{u}_2 \cdot (\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_2) dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{u}_2 \cdot (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2) d\partial B. \end{aligned} \quad (25)$$

A (24) és (25) egyenlőtlenségek kombinálásával a bizonyítandó (21) egyenlőtlenségi relációt kapjuk. A (17) felcserélhetőségi tétel és a (21) egyenlőtlenségi reláció kombinálásával pedig a bizonyítandó (22) egyenlőtlenségi relációt nyerjük.

A (21) és (22) egyenlőtlenségi relációk az alábbi észrevétel alapján éle-síthetők: $\lambda \mathbf{p}_2$ és $\lambda \mathbf{q}_2$ terhelés amplitúdókhoz nyilván $\lambda \mathbf{u}_2$ elmozdulásvektor amplitúdó tartozik, továbbá $A(\lambda \mathbf{u}_2) = \lambda^2 A(\mathbf{u}_2)$, ahol λ tetszőleges, valós szám. A fenti megjegyzés és az

$$A(\mathbf{u}_1, \lambda \mathbf{u}_2) = \lambda A(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) \quad (26)$$

azonosság, valamint a (18) egyenlet és a (24) egyenlőtlenségi reláció kombinálásával írhatjuk, hogy

$$A(\mathbf{u}_1) \geq -\lambda^2 A(\mathbf{u}_2) + \lambda \left(\int_B \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{u}_2 dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{u}_2 d\partial B \right). \quad (27)$$

A (27) jobb oldala a λ paraméter függvénye, könnyen kimutatható, hogy a

$$\lambda^* = \frac{\int_B \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{u}_2 dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{u}_2 d\partial B}{2A(\mathbf{u}_2)} \quad (28)$$

helyen abszolút maximummal rendelkezik, s e maximum értéke

$$\Phi = \frac{\left(\int_B \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{u}_2 dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{u}_2 d\partial B \right)^2}{4A(\mathbf{u}_2)}. \quad (29)$$

A (27) egyenlőtlenség és a (28) képlet kombinálásával kapjuk az alábbi egyenlőtlenségi relációt:

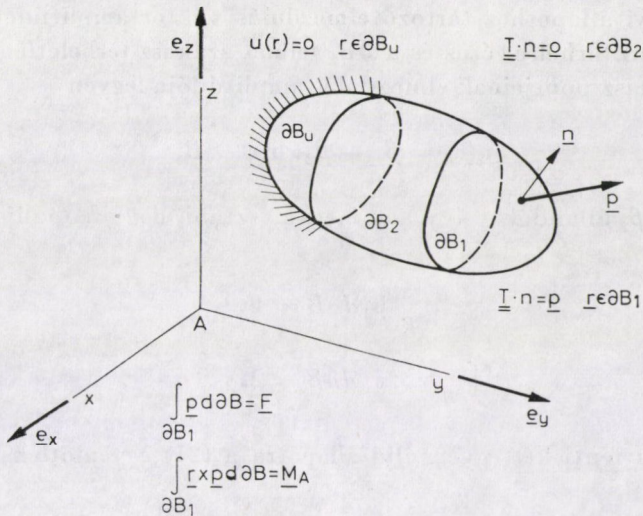
$$A(\mathbf{u}_1) \geq \frac{\left(\int_B \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{u}_2 dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{u}_2 d\partial B \right)^2}{4A(\mathbf{u}_2)}. \quad (30)$$

A (30) egyenlőtlenségi relációból általában élesebb alsó korlátot nyerünk az $A(\mathbf{u}_1)$ módosított alakváltozási energia számára, mint a (21) egyenlőtlenségi relációból.

A bizonyított összehasonlítási tétel és (30) alsó korlát alkalmazásához megemlítjük a (14), (18) egyenletekből következő

$$2A(\mathbf{u}) = \int_B \mathbf{q} \cdot \mathbf{u} dB + \int_{\partial B_p} \mathbf{p} \cdot \mathbf{u} d\partial B. \quad (31)$$

azonosságot.



2. ábra. Előírt tulajdonságú felületi terhelés szemléltetése

3.2 A (21) egyenlőtlenségi reláció egy következménye

Legyen adott a ∂B_p felületszakasz ∂B_1 részén működő felületi terhelés amplitúdójának az A ponthoz kötött eredő vektorkettőse (2. ábra):

$$\int_{\partial B_1} \mathbf{p} d\partial B = \mathbf{F}, \quad (32)$$

$$\int_{\partial B_1} \mathbf{r} \times \mathbf{p} d\partial B = \mathbf{M}_A. \quad (33)$$

Legyen tovább

$$\mathbf{p}(\mathbf{r}) = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in \partial B_2, \quad (\partial B_p = \partial B_1 + \partial B_2), \quad \mathbf{q}(\mathbf{r}) = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in B.$$

Mindazon felületi terhelés amplitúdó függvényeket tekintve, amelyek ugyanazon felületszakaszon működnek és statikailag egyenértékűek, a módosított alakváltozási energia azon felületi terhelés amplitúdó megoszlásnál minimális, amelyik a ∂B_1 felületszakasz pontjainak merevtestszerű elmozdulását idézi elő, vagyis amelyhez tartozó elmozdulás vektor amplitúdó a ∂B_1 felületszakaszon a

$$\mathbf{u} = \beta_1 + \beta_2 \times \mathbf{r} \quad \mathbf{r} \in \partial B_1 \quad (34)$$

alakba írható. A (33) és a (34) képletben β_1, β_2 állandó vektorok, továbbá \times a vektorális szorzás jele.

Bizonyítás. Legyen $\mathbf{u}_1 = \mathbf{u}_1(\mathbf{r})$ olyan egyensúlyi állapothoz tartozó megoldás, amelyhez tartozó térfogati terhelés zérus és a megfelelő felületi terhelés kielégíti a (32) és (33) egyenleteket, továbbá $\mathbf{p}_1(\mathbf{r}) = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in \partial B_2$. Jelölje $\mathbf{u}_2 = \mathbf{u}_2(\mathbf{r})$

azon egyensúlyi állapothoz tartozó elmozdulás vektor amplitúdót, amelyhez tartozó térfogati terhelés zérus és a ∂B_2 felület szakasz terheletlen, továbbá a ∂B_1 felületszakasz pontjainak elmozdulás amplitúdója legyen

$$\mathbf{u}_2(\mathbf{r}) = \boldsymbol{\beta}_1 + \boldsymbol{\beta}_2 \times \mathbf{r} \quad \mathbf{r} \in \partial B_1 \quad (35)$$

alakú. A $\boldsymbol{\beta}_1$ és $\boldsymbol{\beta}_2$ állandókat úgy kell megválasztani, hogy fennálljon az alábbi két egyenlet:

$$\int_{\partial B_1} \mathbf{p}_2 d\partial B = \mathbf{F}, \quad (36)$$

$$\int_{\partial B_1} \mathbf{r} \times \mathbf{p}_2 d\partial B = \mathbf{M}_A. \quad (37)$$

Alkalmazzuk a fenti két egyensúlyi állapotra a (21) egyenlőtlenségi relációt:

$$A(\mathbf{u}_1) \geq A(\mathbf{u}_2) + \int_{\partial B_P} (\boldsymbol{\beta}_1 + \boldsymbol{\beta}_2 \times \mathbf{r}) \cdot (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2) d\partial B = A(\mathbf{u}_2). \quad (38)$$

A (38) egyenlőtlenségi reláció lényegében az előzőekben megfogalmazott állítás igazolását jelenti.

4. A Castigliano-tétel általánosítása

A módosított alakváltozási energia megadható a feszültségi tenzor amplitúdó és a test térfogatán megoszló

$$\mathbf{t} = \rho \alpha^2 \mathbf{u} \quad (39)$$

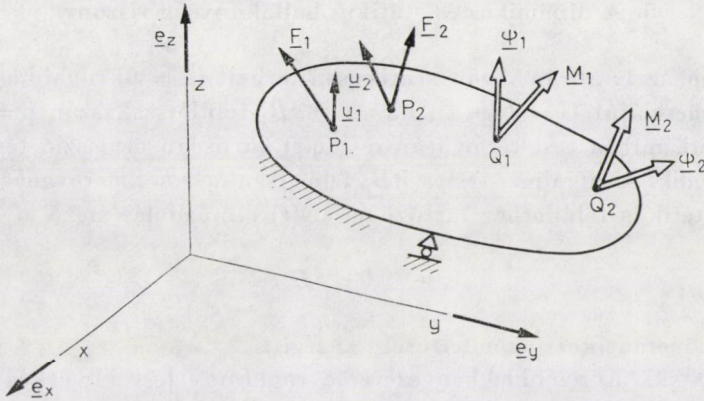
tehetetlenségi erőrendszer amplitúdó függvényeként:

$$A(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} \int_B \mathbf{T} : \mathbf{D} : \mathbf{T} dB - \frac{1}{2} \int_B \frac{\mathbf{t}^2}{\rho \alpha^2} dB. \quad (40)$$

Következőekben a \mathbf{T} feszültségi tenzor amplitúdó és a tehetetlenségi erőrendszer amplitúdó függvényeként felírt módosított alakváltozási energiát *módosított kiegészítő energiának* hívjuk és K -val jelöljük. Az általánosított Castigliano-képlet levezetésekor csak azt a megkötést használjuk, hogy α nem egyezik meg a rugalmas test azonos megtámasztási feltételekhez tartozó egyenlet sajátfrekvenciájával sem.

A (31), (40) egyenletek kombinálásával nyert

$$2K(\mathbf{T}) = \int_B \mathbf{q} \cdot \mathbf{u} dB + \int_{\partial B_P} \mathbf{p} \cdot \mathbf{u} d\partial B \quad (41)$$



3. ábra. Koncentrált harmonikus erőkkal és nyomatékokkal terhelt test

egyenletből következik, hogy a 3. ábrán vázolt fix megtámasztású test esetében rögzítve az F_1, F_2, \dots erő és az M_1, M_2 erőpár amplitúdók támadáspontjait és állásait a módosított kiegészítő (alakváltozási) energia az $F_1, F_2, \dots M_1, M_2$, mennyiségek függvénye:

$$K = K(F_1, F_2, \dots; M_1, M_2, \dots) \quad (42)$$

Valamennyi terhelés amplitúdót λ szorosra növelve, homogenitási tulajdonság alapján írhatjuk, hogy

$$K(\lambda F_1, \lambda F_2, \dots; \lambda M_1, \lambda M_2, \dots) = \lambda^2 K(F_1, F_2, \dots; M_1, M_2, \dots). \quad (43)$$

Euler homogén függvényekre vonatkozó ismert tételéből következik, hogy

$$\frac{\partial K}{\partial F_1} F_1 + \frac{\partial K}{\partial F_2} F_2 + \dots + \frac{\partial K}{\partial M_1} M_1 + \frac{\partial K}{\partial M_2} M_2 + \dots = 2K. \quad (44)$$

A (41) egyenlet szerint

$$2K = F_1 u_1 + F_2 u_2 + \dots + M_1 \psi_1 + M_2 \psi_2 + \dots \quad (45)$$

A (45) egyenletben, u_1, u_2 a P_1, P_2 pontok u_1, u_2 elmozdulás vektor amplitúdóinak F_1, F_2 irányú vetületeit, továbbá ψ_1, ψ_2 pedig a Q_1, Q_2 pontokhoz tartozó ψ_1, ψ_2 szögelfordulási amplitúdók M_1, M_2 irányú vetületeit jelölik.

A (44) és (45) egyenletek kombinálásával nyerjük a (46) egyenletet:

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial F_1} &= u_1 & \frac{\partial K}{\partial F_2} &= u_2 \dots \\ \frac{\partial K}{\partial M_1} &= \psi_1 & \frac{\partial K}{\partial M_2} &= \psi_2 \dots \end{aligned} \quad (46)$$

5. A dinamikus és statikus hajlékonyság viszonya

Jelölje az 1. ábrán vázolt statikusan terhelt ($\alpha = 0$) rugalmas test alakváltozási energiáját $U = U(\mathbf{p}, \mathbf{q})$, ha a test ∂B_p felületszakaszán $\mathbf{p} = \mathbf{p}(\mathbf{r})$ sűrűségű felületi, míg a test térfogatán $\mathbf{q} = \mathbf{q}(\mathbf{r})$ sűrűségű megoszló térfogati terhelés működik. A rugalmas test a ∂B_u felületszakaszon „mereven” megfogott, vagyis a statikus feladathoz tartozó $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{r})$ elmozdulás mező a

$$\mathbf{v} = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in B_u \quad (47)$$

homogén kinematikai peremfeltételt kielégíti.

Tekintsük az előbbieken szereplő rugalmas test következő előírások által definiált dinamikai peremérték feladatát:

$$\bar{\mathbf{p}} = \mathbf{p}(\mathbf{r}) \cos \alpha t \quad \mathbf{r} \in \partial B_p, \quad (48)$$

$$\bar{\mathbf{q}} = \mathbf{q}(\mathbf{r}) \cos \alpha t \quad \mathbf{r} \in B, \quad (49)$$

$$\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in \partial B_u. \quad (50)$$

Jelölje a fenti előírások által meghatározott dinamikai peremérték-feladathoz tartozó módosított alakváltozási energiát

$$A(\mathbf{p}, \mathbf{q}, \alpha^2).$$

Felvetődik az a kérdés, hogy a statikus terheléshez tartozó $U(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = A(\mathbf{p}, \mathbf{q}, 0)$ alakváltozási energia milyen viszonyban van a dinamikus terheléshez tartozó módosított alakváltozási energiával. A fenti problémával kapcsolatban az alábbi tételt bizonyítjuk.

Tétel. Legyen $\alpha < A$. Fennáll az

$$A(\mathbf{p}, \mathbf{q}, \alpha^2) \geq A(\mathbf{p}, \mathbf{q}, 0) = U(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \quad (51)$$

egyenlőtlenségi reláció.

Bizonyítás. Jelölje $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{r})$ a statikai feladat ($\alpha = 0$) megoldást, míg $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{r})$ a megfelelő dinamikai feladat megoldását. A (12) egyenlőtlenségi relációban — ez megengedett — legyen $\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{r}) = \mathbf{v}(\mathbf{r})$. Rövid számolással azt kapjuk, hogy

$$-\frac{1}{2} A(\mathbf{p}, \mathbf{q}, \alpha^2) \leq -\frac{1}{2} U(\mathbf{p}, \mathbf{q}) - \frac{1}{2} \alpha^2 \int_B \varrho \mathbf{v}^2 dB, \quad (52)$$

hiszen

$$\frac{1}{2} \int_B \text{def } \mathbf{v} : \mathbf{C} : \text{def } \mathbf{v} dB - \int_B \mathbf{q} \cdot \mathbf{v} dB - \int_{\partial B_p} \mathbf{p} \cdot \mathbf{v} d\partial B = -\frac{1}{2} U(\mathbf{p}, \mathbf{q}). \quad (53)$$

Az (52) egyenlőtlenségi relációból már következik a bizonyítandó (51) egyenlőtlenségi reláció, mivel

$$\alpha^2 \int \varrho v^2 dB > 0. \quad (54)$$

Az (51) egyenlőtlenségi reláció egy következménye

Tekintsük a 4. ábrán vázolt fix megtámasztású testet. A test terhelése a támasztó erőrendszertől eltekintve a P_1, P_2, \dots, P_n pontokon támadó F_1, F_2, \dots, F_n aktív külső erőkől álló erőcsoport.

Az erők támadáspontjainak erőirányú elmozdulásait rendre v_1, v_2, \dots, v_n betűvel jelöljük. Az erők és elmozdulások kapcsolatát a $c_{ij} = c_{ji}$ Maxwell-féle hatásszámok bevezetésével a

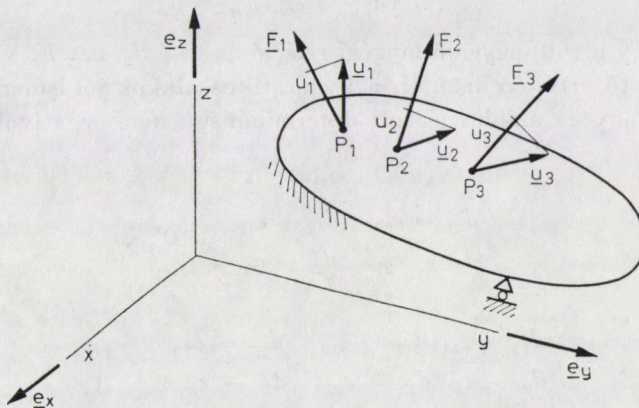
$$\begin{aligned} v_1 &= c_{11}F_1 + c_{12}F_2 + \dots + c_{1n}F_n \\ v_2 &= c_{21}F_1 + c_{22}F_2 + \dots + c_{2n}F_n \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (55)$$

alakban tudjuk megadni. A test alakváltozási energiája az F_1, F_2, \dots, F_n erők ismeretében a

$$\begin{aligned} 2u &= c_{11}F_1^2 + 2c_{12}F_1F_2 + \dots & + 2c_{1n}F_1F_n \\ &+ c_{22}F_2^2 + \dots & + 2c_{2n}F_2F_n \\ & & + c_{nn}F_n^2 \end{aligned} \quad (56)$$

képletből számítható.

Az (1), (2), \dots (5) kerületiérték feladat szerkezetéből következik, hogy ha az előbb vázolt test P_1, P_2, \dots, P_n pontjaiban $\bar{F}_1 = F_1 \cos \alpha t, \bar{F}_2 = F_2 \cos \alpha t, \dots, \bar{F}_n = F_n \cos \alpha t$ körfrekvenciájú harmonikus gerjesztő erőket működ-



4. ábra. Vázlat a hatásszámok értelmezéséhez

tetjük a statikus terhelésnek megfelelő amplitúdókkal, akkor a P_1, P_2, \dots, P_n pontok erőirányú elmozdulásai az alábbiak lesznek:

$$\bar{u}_1 = u_1 \cos \alpha t, \quad \bar{u}_2 = u_2 \cos \alpha t, \quad \dots \quad \bar{u}_n = u_n \cos \alpha t.$$

A linearitás szükségszerű következménye, hogy az erő és elmozdulás amplitúdók kapcsolata is lineáris függvénnyel jellemezhető. (4. ábra):

$$\begin{aligned} u_1 &= d_{11}F_1 + d_{12}F_2 + \dots & + d_{1n}F_n \\ u_2 &= d_{21}F_1 + d_{22}F_2 + \dots & + d_{2n}F_n \\ \vdots & & \vdots \end{aligned} \quad (57)$$

A (17) felcserélhetőségi reláció következménye, hogy

$$d_{ij} = d_{ji}. \quad (58)$$

Nyilván a d_{ij} együtthatók α^2 függvényei

$$d_{ij} = d_{ij}(\alpha^2) \quad \text{és} \quad d_{ij}(0) = c_{ij}.$$

Könnyen kimutatható, hogy a módosított alakváltozási energia az F_1, F_1, \dots, F_n erő-amplitúdók ismeretében a

$$\begin{aligned} 2A(F_1, F_2, \dots, F) &= d_{11}F_1^2 + 2d_{12}F_1F_2 + \dots \\ &+ \dots + d_{1n}F_1F_n + d_{22}F_2^2 + 2d_{21}F_1F_2 + \dots + d_{nn}F_n^2 \end{aligned} \quad (59)$$

képletből számítható.

A bizonyított (51) egyenlőtlenségi reláció alapján írhatjuk, hogy az $\alpha < A$ esetben

$$\begin{aligned} (d_{11} - c_{11})F_1^2 + 2(d_{12} - c_{12})F_1F_2 + \dots & \dots + 2(d_{1n} - c_{1n})F_1F_n + \\ + (d_{22} - c_{22})F_2^2 + \dots & \dots + 2(d_{2n} - c_{2n})F_2F_n + \\ + \dots (d_{nn} - c_{nn})F_n^2 & \geq 0. \end{aligned} \quad (60)$$

Minthogy a (60) egyenlőtlenségi reláció az F_1, F_2, \dots, F_n változók minden szöbajóhető értékére fennáll, a kvadratikusan alakok jól ismert elméletéből következik, hogy az alább felsorolt determinánsok nem negatívak:

$$\begin{aligned} d_{11} - c_{11} &\geq 0, \\ \begin{vmatrix} d_{11} - c_{11} & d_{12} - c_{12} \\ d_{21} - c_{21} & d_{22} - c_{22} \end{vmatrix} &\geq 0, \\ \vdots & \\ \begin{vmatrix} d_{11} - c_{11} & d_{12} - c_{12} & d_{1n} - c_{1n} \\ d_{21} - c_{21} & d_{22} - c_{22} & d_{2n} - c_{2n} \\ d_{n1} - c_{n1} & d_{n2} - c_{n2} & d_{nn} - c_{nn} \end{vmatrix} &\geq 0. \end{aligned} \quad (61)$$

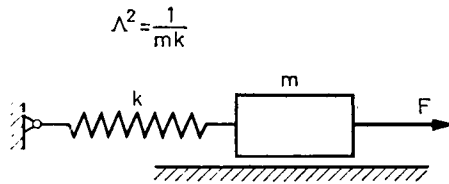
A (61) egyenlőtlenségi relációból következő

$$d_{ii}(\alpha^2) \geq d_{ii}(0) = c_{ii}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (62)$$

egyenlőtlenségi reláció fizikai tartalma igen lényeges.

A dinamikus terheléshez tartozó hajlékonyság, ha $\alpha < 1$, biztosan nem kisebb a statikus terheléshez tartozó hajlékonyságnál.

A (62) egyenlőtlenségi relációt valamely egyszabadságfokú mechanikai rendszerrel kapcsolatban a következő módon szemléltethetjük.



5. ábra. Egy szabadságfokú modell

Jelölje k az 5. ábrán vázolt súlytalan rugó hajlékonyságát. Nyilván

$$c = k, \quad (63)$$

további elemi számolással kimutatható, hogy a jelen példában

$$d(\alpha^2) = \frac{k}{1 - \left(\frac{\alpha}{1}\right)^2}, \quad (64)$$

ahol

$$\Lambda^2 = \frac{1}{mk}. \quad (65)$$

A (63), (64) egyenletek összevetésével összhangban a tétel állításával írhatjuk, hogy

$$d(\alpha^2) > d(0) = c. \quad (66)$$

6. Új eredmények

A tanulmány új eredményei a (21), (22) egyenlőtlenségi relációk, a (30) egyenlőtlenségi reláció, a statikailag egyenértékű felületi terhelésekkel kapcsolatban a (21) egyenlőtlenségi reláció alkalmazásával bizonyított minimum tétel, a (46) képlet, valamint az (51) és (62) egyenlőtlenségi relációk.

IRODALOM

1. MRÓZ, Z.: Optimal Design of Elastic Structures Subjected to Dynamic Harmonically Varying Loads *ZAMM* 50 (1970), 303–309
2. WASHIZU, K.: Note on the Principle of Stationary Complementary Energy Applied to Free Vibrations of an Elastic Body *Int. Journ. Solid. and Struct.* (1966), 27–37
3. REISSNER, E.: Note on the Method of Complementary Energy *J. Math. Phys.* (1948), 159–160
4. ICERMAN, L. I.: Optimal Structural Design for Given Dynamic Deflection. *Intern. Journ. Solids. and Struct.* 5 (1969), 473–490
5. GRAFFI, D.: Sui Teoremi di Reciprocità nei Fenomeni Dipendenti dal Tempo. *Annali di Matematica* Series 4. vol 18 (1939) 173–200
6. WASHIZU, K.: Variational Methods in Elasticity and Plasticity. Pergamon Press First Ed. (1963), pp. 27–48

Some Energy Theorems in the Dynamics of Elastic Solids. — Some new theorems are presented in connection with the boundary value problem relating to the harmonic excitation of the oscillation of continua of linearly elastic material. The verification of the inequality relation concerning the dynamic and static flexibility takes place by the application of the minimum theorem established by Z. MRÓZ. Also a new concept is defined which, in case of relation concerning the dynamic and static flexibility takes place by the application of the harmonic excitation, has properties similar to the deformation energy caused by static loading.

Einige Energiesätze in der Dynamik der elastischen Körper. — Einige neue Sätze werden behandelt, die mit der Randwertaufgabe der harmonischen Schwingungserregung von Kontinua linearelastischen Materials zusammenhängen. Die auf die dynamische und statische Flexibilität bezügliche Ungleichheitsrelation wird mit dem von Z. MRÓZ aufgestellten Minimumsatz bewiesen. Ein neuer Begriff wird auch definiert, der für die harmonische Schwingung derartige Eigenschaften aufweist, die der Verformungsenergie bei der statischen Belastung vergleichbar sind.

HENGERSZIMMETRIKUS ÉS SÍK FELADATOKRÓL

LÁMER GÉZA*

[Beérkezett: 1980. március 12-én]

A tanulmányban rendszerezünk és analizáltuk a hengerszimmetrikus és sík feladatokat. Szakirodalmi áttekintést adtunk a feladatok meghatározásairól, és rámutattunk azok eltéréseire. Az eltérő meghatározásokat különböző feladatnak tekintve, új típusú állapotokat definiáltunk mind a hengerszimmetria fennállásánál, mind a sík feladatoknál. Megadtuk az újonnan bevezetett állapotok egységes definícióit, az állapotokat meghatározó egyenleteket, valamint a megoldások (elmozdulás komponensekre érvényes) függvényosztályait. Megmutattuk, hogy az egységesen definiált állapotok egy-egy feszültség összetevővel különböznek egymástól, és hogy csak ebben a felfogásban lehet a sík feszültség állapotot a rugalmassági modulusok transzformációjával visszavezetni a sík alakváltozási állapotra.

Jelölések

i, j, k	— ortogonális koordináta rendszer egységvektorai
x_i	— ortogonális koordináták ($i = 1, 2, 3$)
x, y, z	— derékszögű koordináták
r, φ, z	— hengerkoordináták
u	— elmozdulásvektor
u_i	— elmozduláskomponens
u, v, w	— elmozduláskomponensek derékszögű-koordináta rendszerben
u_r, u_φ, u_z	— elmozduláskomponensek hengerkoordináta rendszerben
T_e	— deformációtenzor, komponensei $t_{ij}(e) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ (A szövegben az elterjedtebb $e_x, \dots, \gamma_{xy}, \dots$ jelölést használjuk.)
ε	— térfogatváltozás, $\varepsilon = t_{ii}(e)$
T_σ	— feszültségi tenzor, komponensei $t_{ij}(\sigma) = \lambda \delta_{ij} \varepsilon + 2G t_{ij}(e)$ (A szövegben az elterjedtebb $\sigma_x, \dots, \tau_{xy}, \dots$ jelölést használjuk.)
δ_{ij}	— Kronecker-féle szimbólum
λ, G	— Lamé-féle rugalmassági együtthatók
μ	— harántkontrakciós tényező, $\mu = \lambda/2(\lambda + G)$
$E(\zeta)$	— A k egységvektor irányába mutató ζ vektorral történő <i>eltolás</i>
$T(S_k)$	— A k normmálisú S_k síkra történő <i>tükrözés</i>
u_0, v_0, w_0	— z -től független elmozdulás komponensek
$u_r^0, u_\varphi^0, u_z^0$	— φ -től független elmozdulás komponensek
$\nabla_0^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$	— kétdimenziós Laplace-operátor

1. Bevezetés

A szerkezet erőjátékának megállapításakor a geometriai viszonyoktól függően különböző típusú modelleket használunk (rúd, lemez, héj). Bonyolultabb geometriai alakzat esetében a rugalmasságtan alapegyenleteit kell al-

* Lámér Géza, 1088 Budapest, Vas u. 15/b.

kalmaznunk. Ezek az egyenletek is egyszerűsíthetők, például forgástestek számításakor hengersizmetrikus terhelés esetén, vagy sík feladatok megoldásakor. Így a háromdimenziós feladat kétdimenzióssá egyszerűsödik. (Pontosabban fogalmazva, a mechanikai állapotjellemzők nem három, hanem csak két változó függvényei; a vizsgálandó test mindkét esetben háromdimenziós.) Ez az egyszerűsödés a magyarázata annak, hogy ezek a feladatok részletesen kidolgozott fejezetei a rugalmasságtannak.

1.1 A forgástestek elmélete és számítása sokoldalúan megvilágított, kiváltképp a körszimmetrikus lemezek és héjak elmélete, ahol a két szabad argumentum szétválasztható (lemez), illetve analitikus összefüggés írható föl rájuk (forgáshéj). Ezen esetek tárgyalását a [21] és a [36] monográfiákban találjuk. A háromdimenziós forgástestek (vastagfalú forgáshéjak) elméletéről írt egyik legteljesebb mű [15] a rugalmasságtani feladatokon túl tárgyalja a hőfeszültségeket és a nemrugalmas viselkedést is nem csak hengersizmetrikus, hanem tetszőleges terhelés esetében. A forgástestek elméletének majdnem minden rugalmasságtani elméleti és kézikönyv szentel egy-egy fejezetet [2, 3, 6, 10, 18, 19, 26, 31, 34], és a végeelem módszerben, mint alkalmazott megoldási sémában is, megjelentek a forgástestek számításához szükséges gyűrű alakú elemek [5, 16, 23, 25, 27, 37, 38].

1.2 „*A sík feladat* — LURJE szavait idézve — *a rugalmasságtan általánosan és legjobban kidolgozott fejezete.*”*

Ennek magyarázata elsősorban azokban a könnyebbségekben keresendő, amit a kétváltozós parciális differenciálegyenletek megoldása nyújt a háromváltozóssal szemben. A sík feladatoknak, mint a rugalmasságtan egyik fejezetének a fejlődése, a komplex változók bevezetése [14] után következett be [11, 12, 19, 22, 34], habár jelentős a nem komplex függvények alkalmazásával nyert megoldások száma is (hajlításelmélet, rugalmas sík, félsík és ék) [7, 8, 10, 11, 17, 19, 24, 32, 33, 34, 35].

2. Irodalmi áttekintés

2.1 Hengersizmetrikus állapot

A hengersizmetrikus feladatokat a szakirodalom hengersizmetrikus geometriai alakzatokra — forgástestekre értelmezi. [2, 3, 6, 18, 19, 31, 32, 33]. A hengersizmetrikus állapotban hengersizmetrikusnak tekintik az alakváltozás- és feszültségmezőn kívül az elmozdulásmezőt is. Ez esetben mind az egyensúlyi, mind a geometriai egyenletek két csoportra esnek szét (1. Táblázat). A hengersizmetrikus feladat ilyen tagolása megtalálható a szakirodalomban

* [19], 462. oldal a szerző fordításában.

1. táblázat

	Hengerszimmetrikus állapot	
	Párosan hengerszimmetrikus állapot	Csavarás
Egyensúlyi egyenletek	$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_z}{r} = 0$ $\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0$	$\frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} = 0$
Geometriai egyenletek	$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}$ $\varepsilon_\varphi = \frac{u_r}{r}, \quad \gamma_{rz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \right)$	$\gamma_{r\varphi} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r} \right)$ $\gamma_{\varphi z} = \frac{1}{2} \frac{\partial u_\varphi}{\partial z}$

[6, 19, 26, 33], míg néhány szerző [2, 3, 10, 18, 31, 32] a forgástestek tengelyszimmetrikus terhelése esetében a tengelyszimmetriát az elmozdulás- illetve az alakváltozás- és a feszültségmező vizsgálatakor egyidejűleg henger- és tengelyszimmetriának értelmezve, a φ -től való függetlenséghez hozzáveszi az $u_\varphi = 0$ és a $\tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi z} = 0$ feltételeket is. Ez a gyakorlatban nem vezet hibához, hiszen így a tengelyszimmetria megkövetelésével a csavarást leválasztja az általános hengerszimmetrikus állapotról. Viszont a tengelyszimmetria önmagában megenged nem hengerszimmetrikus terhelést is (pl. tiszta hajlítás). Ezért célszerű kiemelni, hogy *egyszerre* kell a henger- és a tengelyszimmetriának fennállnia. A szimmetriák megnevezését és értelmezését figyelembe véve [9, 20], javasolható egy egységes meghatározás, amely segít megnevezésben is elkülöníteni egymástól a csavarást tartalmazó, illetve nem tartalmazó hengerszimmetrikus állapotokat. Ez utóbbira javaslom a *párosan* hengerszimmetrikus elnevezést. Ugyanis ebben az állapotban $u_\varphi = 0$, $\varphi_{r\varphi} = \gamma_{\varphi z} = 0$, $\tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi z} = 0$. A többi állapotjellemező a forgástengelyen átfektetett bármely síkban *páros* függvénye a sugárnak. Ezért a függvénytanban használatos páros függvény mintájára javasolható a *párosan hengerszimmetrikus* kifejezés.

2.2 Sík feladatok

A sík feladatokat általában sík alakváltozási és feszültségi, valamint általánosított sík feszültségi állapotokra szokás felosztani.

A kitüntetett síkot XOY-nal jelöljük.

2.2.1. A sík alakváltozási állapot meghatározása többnyire egységes. A legelterjedtebb megfogalmazás a következő [3, 7, 11, 17, 18, 22, 31]: sík alakváltozás esetében a kitüntetett síkban történő elmozdulás komponensei (u, v) a síkot kifeszítő koordinátaegyeneselek irányába eső változók (x, y) függ-

vényei; míg a síkra merőleges elmozduláskomponens (w) zérussal egyenlő:

$$\begin{aligned}u &= u(x, y), \\v &= v(x, y), \\w &= 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Az előbbivel egyenértékű megfogalmazás szerint sík alakváltozás esetében a testben keletkező elmozdulások egy adott síkkal (XOY) párhuzamosak [2, 8, 32]. BEZUHOV [2] áttér az alakváltozási és feszültségi tenzor vizsgálatára. FÖPPL A. és FÖPPL L. [8], valamint TIMOSHENKO [32] w -t nem tekintik azonosan egyenlőnek nullával:

$$\begin{aligned}u &= u(x, y), \\v &= v(x, y), \\w &= c_1 z + c_0.\end{aligned}\tag{2}$$

LURJE [19] és NOWACKI [24] a sík alakváltozási állapotot a háromdimenziós feladat kétdimenzióssá való redukálásával vezeti be. Míg LURJE a (2) összefüggéseket használja, addig NOWACKI az:

$$\begin{aligned}\varepsilon_z &= 0, \\\gamma_{yz} &= 0, \\\gamma_{zx} &= 0\end{aligned}\tag{3}$$

kifejezéseket tekinti kiinduló feltételeknek. Integrálásukat nem hajtja végre, hanem (3) következményének a (2) összefüggéseket tekinti $c_1 = 0$ feltétellel.

Ugyancsak elterjedt megoldás az állapot definiálására egy példa vizsgálata. Ezzel elsősorban a szemléletességre épít, habár bizonyító erejűnek tekinti a példát: Sík alakváltozási állapotban van az a végtelenül hosszú *prizmatikus* rúd (műtárgy), amelyre a k irányában változatlan intenzitású terhelés hat [6, 10, 12, 26, 33, 34]. Megemlítjük, hogy [6, 33, 34] az (1) képleteket felhasználva gyakorlati példákat vizsgálnak, [10] a (2), [26] az (1) képleteket, [12] a komplex függvénytant alkalmazva a feladatot elméletileg tárgyalják; a kiinduló problémára csak rámutatnak. LURJE, FÖPPL A. és FÖPPL L. a meghatározás után, mint alkalmazási területet említi a fenti példát.

Gyakorlatilag három meghatározást lehet élesen elkülöníteni. Az első meghatározás az elmozdulásnak azt a tulajdonságát emeli ki, hogy az XOY síkkal párhuzamos. A második, amelyet csak NOWACKI alkalmaz, a deformációt jellemzi úgy, hogy az az XOY síkkal párhuzamos. A harmadik definíció típust nem meghatározásnak, hanem következménynek, illetve az elhanyagol-

lások figyelembevételével (de Saint-Venant hatás) alkalmazási körnek kell tekinteni.

2.2.2 A sík feszültségi állapotot néhány szerző nem tárgyalja [6, 7, 12, 32]. Legelterjedtebb az a meghatározás [8, 11, 17, 18, 19, 33, 34], miszerint a testben az XOY síkkal párhuzamos síkok feszültség mentesek:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= 0, \\ \tau_{yz} &= 0, \\ \tau_{zx} &= 0.\end{aligned}\tag{4}$$

A szerzők egy része a szemléletes meghatározást részesíti előnyben. Tekintenek egy vékony tárcsát, amelynek a lapjai feszültségmentesek, továbbá az „éle” (palástja) mentén lapjaival párhuzamos erőrendszerrel terhelt [2, 3, 22, 31]. A vastagság elhanyagolhatóságát kiemelve [2, 3, 10, 22, 31], illetve a terhelést a tárcsa felező síkjára szimmetrikusnak feltételezve [22, 26], integrálást alkalmaznak, (ami MUSZHELISVILI [22] esetében már az általánosított sík feszültség állapot meghatározásával egyenértékű), áttérnek a feszültség középvértékekre. Ekkor, ha az alaplapokon a terhelés zérus, az egész tárcsában fennállnak a (4) összefüggések — a feszültség középvértékekre. A továbbiakban néhány szerző utal arra, hogy ebben az esetben a feladat már nem kétdimenziós, hiszen az u és v elmozduláskomponensek már z függvényei is; valamint w az x és y függvénye. Így az alakváltozási és feszültségi tenzorok is függvényei z -nek. A feladat analízisének a [11, 17] művek szerzői ezt a tényt figyelmen kívül hagyják. LOVE [18] az „eltolódásfüggvény”, LURJE a „feszültségfüggvény” alkalmazásával mutatja ki a z koordináta szerepét. LOVE a feszültség középvérték bevezetése után áttér az általánosított sík feszültségi állapot tárgyalására. LURJE integrálással (a terhelést szimmetrikusnak tételezi föl a tárcsa felező síkjára) a sík alakváltozási állapotra vezeti vissza a feladatot, kikapcsolva ezzel a z koordinátát és a w elmozduláskomponenst.

NOWACKI meghatározónak a feszültségek z -től való függetlenségét tekinti, és megmutatja, hogy a sík feszültségi állapot tartalmazza a z tengely körüli csavarást is.

A meghatározásokban, kivéve NOWACKIÉ, nem találunk éles ellentéteket. Az első meghatározás az XOY síkok feszültségmentességét mondja ki. A továbbiakban a példa felhozatalával utal arra, hogy a többi feszültségkomponens z -től független. Ezt egyik szerző sem írja le egyértelműen — kivéve LURJÉ. A második, amelyet csak NOWACKI alkalmaz, a feszültségek z -től való függetlenségét tekinti alapösszefüggésnek. A harmadik meghatározásban jelentős szerepet kap a vizsgált tárcsa vastagsága, hiszen a másik két dimenzió irányában lényegesen nagyobb kiterjedése van, így a k normálisú síkok felületén ható feszültségek elhanyagolhatók. Ez már átmenet az általánosított sík feszültségi állapotba.

Megemlítjük, hogy a szerzők többsége a sík feszültségi állapotot a $\lambda' = 2\lambda G(\lambda + 2G)$, valamint a $G' = G$ rugalmassági modulusok bevezetésével visszavezeti a sík alakváltozási állapotra. Ez a megfeleltetés csak a feszültségkomponensekre igaz, az elmozduláskomponensek esetében némi közelítéssel kell élnünk.

2.2.3 Az általánosított sík feszültségi állapotot egyes szerzők a vizsgált tárcsa vastagságának elhanyagolásával [3, 6, 12] definiálják. A [17, 18, 19, 32] művekben integrál segítségével bevezetik a feszültség középértéket. Ezután alkalmazzák a de Saint-Venant-elvet, és rámutatnak arra, hogy a (4) egyenletek érvényben vannak. Természetesen itt is figyelembe lehet venni, hogy a többi feszültségkomponens függ-e z -től, avagy sem.

Mivel minden konkrét esetben külön el kell dönteni, hogy közelítés nélkül alkalmazhatók-e az egyes sík feladatok típusai, ezért a továbbiakban az *általánosított* sík feladatokkal nem foglalkozunk.

2.2.4 A sík feladatok a főnyúlási és főfeszültségi koordináta rendszerben is definiálhatók [4, 28]. Ennek során kellő körültekintéssel kell az egy pontban definiált állapotot az egész testre általánosítani. Emiatt a gyakorlatban egy, a kitüntetett irányítással koaxális, külső globális koordináta rendszerben definiált meghatározás terjedt el.

3. Meghatározások

Jelen dolgozatban feltételezzük, hogy a vizsgált testek homogén, izotrop rugalmas anyagúak. Jellemzésükre egyaránt használjuk a λ és a G Lamé-féle rugalmassági modulusokat, valamint a μ harántkontrakciós tényezőt.

A vizsgálandó állapotokat speciális geometriájú testekre fogjuk értelmezni: Hengerszimmetrikus állapotban forgástestekre, sík állapotban egyenes* prizmatikus testekre. Ezeknek a geometriai alakzatoknak közös tulajdonságuk, hogy kielégítik az állapotok invariancia tulajdonságait, azaz a forgatási és az eltolási szimmetriát.

Az adott állapotokban a peremfeltételeknek — mind az alátámasztásoknak, mind a terheléseknek — ki kell elégíteniük az állapotot meghatározó feltételeket, azaz az invarianciákat. Ez tisztán csak akkor teljesül, ha a vizsgált test maga is kielégíti az invariancia feltételeit. Ennek hiányában csak annyit mondhatunk, hogy a peremfeltételek által létrehozott alakváltozás és/vagy feszültségi állapot kielégíti az állapotot meghatározó egyenleteket.

* Az alaplapok merőlegesek a prizmatikus test alkotóira. A továbbiakban az egyenes jelzőt elhagyjuk, de a dolgozatban a prizmatikus testet mindig egyenesnek képzeljük.

3.1 Szimmetria

3.1.1 A hengersizimmetrikus állapot meghatározásának az állapot φ -szögű forgatással szemben mutatkozó invarianciáját tekintettük. Ezért mind az elmozdulás-, mind az alakváltozás- és a feszültségmező φ szerinti parciális deriváltja zérus.

Hengersizimmetrikus elmozdulásmező fennállásából ($\partial \mathbf{u} / \partial \varphi = 0$) már következik, hogy az alakváltozás- és a feszültségmező is hengersizimmetrikus. Viszont a feladatot mint hengersizimmetrikus alakváltozási és feszültségi állapotot definiáljuk — gyakorlati feladatoknál elsősorban a feszültség érdekli a felhasználót —, ezért bizonyítandó, hogy a $\partial T_e / \partial \varphi = 0$ és/vagy $\partial T_\sigma / \partial \varphi = 0$ fennállása — hengersizimmetrikus test esetében — maga után vonja a $\partial \mathbf{u} / \partial \varphi = 0$ azonosság fennállását is.

Megjegyzés: Izotrop rugalmas anyagra a deformációtenzor és a feszültségi tenzor lineáris összefüggéséből következik, hogy a $\partial T_e / \partial x_3 = 0$ és a $\partial T_\sigma / \partial x_3 = 0$ egyenletrendszerek ekvivalensek egymással tetszőleges x_1, x_2, x_3 ortogonális koordináta rendszerben.

Az analízisben megmutatjuk, hogy a $\partial T_e / \partial \varphi = 0$ egyenletből következik, a $\partial \mathbf{u} / \partial \varphi = 0$ összefüggés. Így elégséges hengersizimmetrikus állapotról beszélni, mivel egy mezőnek a hengersizimetriája maga után vonja a másik kettő hengersizimmetrikus voltát.

3.1.2. Sík feladatoknál, a hengersizimmetrikushoz hasonlóan, az állapotot megpróbáljuk valamely transzformációra nézve invariánsnak tekinteni, Kézenfekvő a z irányban tetszőleges ζ nagyságú eltolással szembeni invarianciát tekinteni elsődleges szimmetriának. Ez a szimmetria megköveteli, hogy az állapotjellemző mezők z szerinti parciális deriváltja nulla legyen:

$$\partial T_e / \partial z = 0, \quad \partial T_\sigma / \partial z = 0. \quad (5, 6)$$

Az eltolással szemben mutatott invariancián kívül vizsgálhatjuk a k normálisú síkra való $T(S_k)$ tükrözéssel szembeni invarianciát. Ez a feltétel előírja, hogy az XOY síkra „jellemző” fajlagos szögtorzulások és nyírófeszültségek nullák legyenek:

$$\gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0, \quad (7, 8)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zx} = 0. \quad (9, 10)$$

Ezenkívül két z irányú nullfeltétel szükséges a feladatok megfogalmazásához.

A sík alakváltozási, illetve feszültségi állapot esetében a test z irányban nem szenved alakváltozást:

$$\varepsilon_z = 0, \quad (3a)$$

illetve z irányba nem ébred benne normálfeszültség:

$$\sigma_z = 0. \quad (4a)$$

3.1.3 Általánosítás. A sík alakváltozási, illetve feszültségi állapotokat általánosíthatjuk oly módon, hogy eltekintünk az invarianciáktól, de megtartjuk az állapotra jellemző „sík” tulajdonságot, azaz hogy a \mathbf{k} normálisú síkok nem deplanálódnak, illetve feszültségmentesek maradnak.

3.2 Definíciók

A továbbiakban a fenti szimmetria meghatározásokat figyelembe véve megadjuk az egyes állapotok definíciót.

3.2.1 *A hengersizmetrikus állapotok definíciói*

a) *Hengersizmetrikus állapotnak* nevezzük a forgástestnek azt az állapotát, amikor a test állapotjellemzői φ szögű forgatással szemben invariánsak:

$$\frac{\partial T_i}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{\partial T_\sigma}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{|\partial \mathbf{u}}{\partial \varphi} = 0. \quad (11, 12, 13)$$

b) *Párosan hengersizmetrikus állapotnak* nevezzük a forgástestnek azt az állapotát, amikor a test állapotjellemzői φ szögű forgatással szemben és a forgástengelyen átfektetett bármely síkra vett tükrözéssel szemben invariánsak: A (11, 12, 13) összefüggések, valamint a

$$\gamma_{r\varphi} = \gamma_{\varphi z} = 0, \quad \tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi z} = 0, \quad u_\varphi = 0 \quad (14, 15, 16, 17, 18)$$

összefüggések.

3.2.2 *A sík állapotok definíciói*

Sík feladatról akkor beszélünk, ha a test az alább definiált sík állapotok egyikében van.

a) *Síkbeli feladatnak* nevezzük a prizmatikus testnek azt az állapotát, amelyben mind az alakváltozás-, mind a feszültségmező invariáns az $E(\zeta)$ eltolással szemben: az (5) és (6) összefüggések állnak fenn.

b) *Szimmetrikus síkbeli feladatnak* nevezzük a prizmatikus testnek azt az állapotát, amelyben mind az alakváltozás-, mind a feszültségmező invariáns az $E(\zeta)$ eltolással és a $T(S_k)$ tükrözéssel szemben: az (5)–(10) összefüggések teljesülését kívánjuk meg.

c) *Sík alakváltozási állapotnak* nevezzük a prizmatikus testnek azt az állapotát, amelyben az alakváltozási tenzor invariáns az $E(\zeta)$ eltolással és a

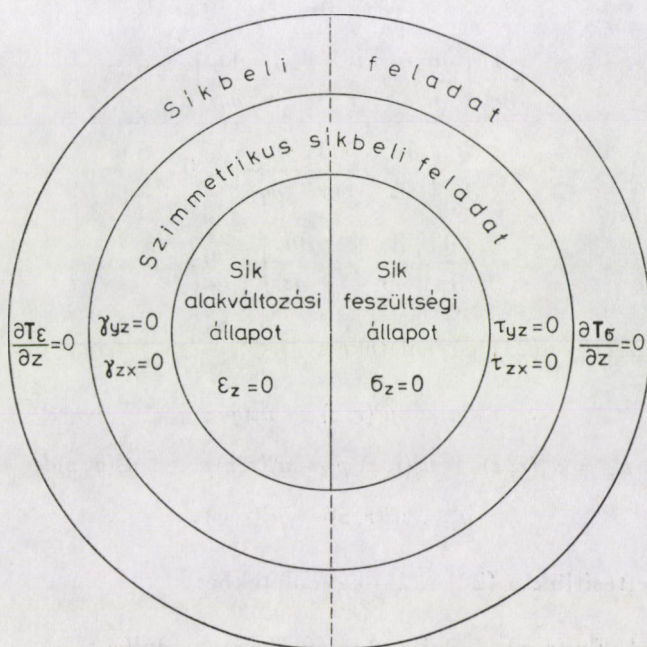
$T(S_k)$ tükrözéssel szemben, valamint z irányban a test nem deformálódik: az (5), (7), (8), (3a) összefüggések állnak fenn.

d) *Sík feszültségi állapotnak* nevezzük a prizmatikus testnek azt az állapotát, amelyben a feszültségi tenzor invariáns az $E(\zeta)$ eltolással és a $T(S_k)$ tükrözéssel szemben, valamint a testben z irányban nem ébred normálfeszültség: a (6), (9), (10), (4a) összefüggések állnak fenn.

e) *Általános sík alakváltozási állapotnak* nevezzük a prizmatikus testnek azt az állapotát, amelyben csak az S_k síkokban jön létre alakváltozás, azaz az S_k síkok nem deplanálódnak és egymáshoz képest nem mozdulnak el. Így csak a (7), (8), (3a) összefüggések teljesülését kívánjuk meg.

f) *Általános sík feszültségi állapotnak* nevezzük a prizmatikus testnek azt az állapotát, amelyben az S_k síkok felülete feszültségmentes. Így csak a (9), (10), (4a) összefüggések teljesülését kívánjuk meg.

Megjegyzés: Abban az esetben, amikor előre tudjuk, hogy a sík állapotra jellemző feltételek nem minden síkban, illetve nem az egész síkban állnak fenn,



Általános sík
alakváltozási állapot

$$\begin{aligned}\varepsilon_z &= 0, \\ \gamma_{yz} &= 0, \\ \gamma_{zx} &= 0.\end{aligned}$$

Általános sík
feszültségi állapot

$$\begin{aligned}\sigma_z &= 0, \\ \tau_{yz} &= 0, \\ \tau_{zx} &= 0.\end{aligned}$$

1. ábra. Az egyes sík feladatok kapcsolata egymással

de a fellépő pontatlanságok hatása elhanyagolható, úgy *általánosított* sík feladatokról beszélünk.

Az egyes állapotok kapcsolatát az 1. ábrán tüntettük fel.

4. A hengerszimmetrikus állapotok analízise

A (11) és a (12) egyenletek ekvivalenciája értelmében elégséges a következő egyenletrendszert vizsgálni:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{\partial u_r}{\partial r} = 0, \quad (19)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} \right) = 0, \quad (20)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (21)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} \right) = 0, \quad (22)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} \right) = 0, \quad (23)$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) = 0. \quad (24)$$

Integráljuk az (19)–(21) egyenleteket:

$$u_r = u_r^0(r, z) + u_r^1(\varphi, z), \quad (25)$$

$$u_\varphi = u_\varphi^0(r, z) + u_\varphi^1(r, z) \varphi - u_r^0(r, z) \varphi - \int u_r^1(\varphi, z) d\varphi, \quad (26)$$

$$u_z = u_z^0(r, z) + u_z^1(r, \varphi), \quad (27)$$

majd behelyettesítjük a (22)–(24) egyenletekbe:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial^2 u_z^1(r, \varphi)}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial u_\varphi^1(r, z)}{\partial z} - \frac{\partial u_r^0(r, z)}{\partial z} - \frac{\partial u_r^1(\varphi, z)}{\partial z} = 0, \quad (28)$$

$$r \frac{\partial}{\partial r} \frac{u_\varphi^0(r, z)}{r} - r \frac{\partial}{\partial r} \frac{u_r^0(r, z)}{r} + \frac{u_r^1(\varphi, z)}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 u_r^1(\varphi, z)}{\partial \varphi^2} = 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial^2 u_z^1(r, \varphi)}{\partial r \partial \varphi} + \frac{\partial^2 u_r^1(\varphi, z)}{\partial \varphi \partial z} = 0. \quad (30)$$

A (30) legáltalánosabb integrálja

$$u_z^1(r, \varphi) = rf_{rz}(\varphi) + f_z(\varphi) + f_z(r), \quad (30a)$$

$$u_r^1(\varphi, z) = -rf_{rz}(\varphi) + f_r(\varphi) + f_r(z), \quad (30b)$$

ezt behelyettesítve (28)-ba, a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial^2 f_{rz}(\varphi)}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 f_z(\varphi)}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial u_\varphi^1(r, z)}{\partial z} - \frac{\partial u_r^0(r, z)}{\partial z} + f_{rz}(\varphi) - \frac{\partial f_r(z)}{\partial z} = 0. \quad (28')$$

Ebben az egyenletben $\partial^2 f_{rz}(\varphi)/\partial \varphi^2 + f_{rz}(\varphi)$ kifejezés csak φ -től függ, ezért

$$f_{rz}(\varphi) = A \sin \varphi + B \cos \varphi, \quad (28a)$$

az $\partial^2 f_z(\varphi)/r\partial \varphi^2 = 0$ kifejezés csak φ -től és r -től függ, ezért

$$f_z(\varphi) = a\varphi + b \quad (28b)$$

és a $\partial u_\varphi^1(r, z)/\partial z + \partial u_r^0(r, z)/\partial z$ kifejezés csak r és z függvénye, ezért

$$u_\varphi^1(r, z) = u_r^0(r, z) + f_\varphi^1(r). \quad (28c)$$

Az (28a, b) kifejezéseket behelyettesítjük a (29) egyenletbe:

$$r \frac{\partial}{\partial r} \frac{f_\varphi^1(r)}{r} + \frac{f_r(\varphi)}{r} + \frac{f(z)}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 f_r(\varphi)}{\partial \varphi^2} = 0, \quad (29')$$

ahonnan azt kapjuk, hogy

$$f_r(z) = 0, \quad (29a)$$

$$f_r(\varphi) = C \sin \varphi + D \cos \varphi, \quad (29b)$$

$$f_\varphi^1(r) = cr. \quad (29c)$$

Az elmozduláskomponensek a következő alakúak:

$$u_r = u_r^0(r, z) - z(A \sin \varphi + B \cos \varphi) + (C \sin \varphi + D \cos \varphi), \quad (31)$$

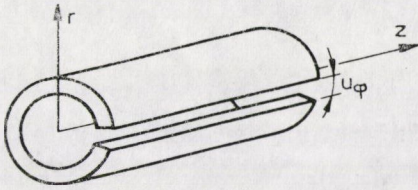
$$u_\varphi = u_\varphi^0(r, z) + z(-A \cos \varphi + B \sin \varphi) - (-C \cos \varphi + D \sin \varphi) + cr\varphi, \quad (32)$$

$$u_z = u_z^0(r, z) + r(A \sin \varphi + B \cos \varphi) + a\varphi + b. \quad (33)$$

Az elmozdulásvektor, valamint az alakváltozási, az elfordulási és a feszültségi tenzorok komponenseit és az állapot redukált Lamé-féle egyenleteit

2. táblázat

	Hengerszimmetrikus állapot	
	Párosan hengerszimmetrikus állapot	Hengerszimmetrikus csavarás
Elmozdulás komponensek	$u = u_r^0 - z (A \sin \varphi + B \cos \varphi) + (C \sin \varphi + D \cos \varphi)$ $u_z = u_z^0 + r (A \sin \varphi + B \cos \varphi)$	$u_\varphi = u_\varphi^0 - z (A \cos \varphi - B \sin \varphi) + (C \cos \varphi - D \sin \varphi)$
Redukált Lamé-féle egyenletek	$(\lambda + G) \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial u_r^0}{\partial r} + \frac{u_r^0}{r} + \frac{\partial u_z^0}{\partial z} \right) + G \left(\frac{\partial^2 u_r^0}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \frac{u_r^0}{r} + \frac{\partial^2 u_r^0}{\partial z^2} \right) = 0$ $(\lambda + G) \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u_r^0}{\partial r} + \frac{u_r^0}{r} + \frac{\partial u_z^0}{\partial z} \right) + G \left(\frac{\partial^2 u_z^0}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z^0}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_z^0}{\partial z^2} \right) = 0$	$\frac{\partial^2 u_\varphi^0}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \frac{u_\varphi^0}{r} + \frac{\partial^2 u_\varphi^0}{\partial z^2} = 0$
Alakváltozási tenzor komponensei	$\varepsilon_r = \varepsilon_r^0, \quad \varepsilon_\varphi = \varepsilon_\varphi^0, \quad \varepsilon_z = \varepsilon_z^0, \quad \gamma_{rz} = \gamma_{rz}^0$	$\gamma_{r\varphi} = \gamma_{r\varphi}^0, \quad \gamma_{\varphi z} = \gamma_{\varphi z}^0$
Elfordulási tenzor komponensei	$\omega_{r\varphi} = -\frac{1}{2} \frac{z}{r} (A \cos \varphi - B \sin \varphi) + \frac{1}{2} \frac{1}{r} (C \cos \varphi - D \sin \varphi)$ $\omega_{\varphi z} = -\frac{1}{2} (A \cos \varphi - B \sin \varphi)$ $\omega_{zr} = \omega_{rz}^0 + (A \sin \varphi + B \cos \varphi)$	$\omega_{r\varphi} = \omega_{r\varphi}^0 + \frac{1}{2} \frac{z}{r} (A \cos \varphi - B \sin \varphi) - \frac{1}{2} \frac{1}{r} (C \cos \varphi - D \sin \varphi)$ $\omega_{\varphi z} = \omega_{\varphi z}^0 - \frac{1}{2} (A \cos \varphi - B \sin \varphi)$ $\omega_{zr} = 0$
Feszültségi tenzor komponensei	$\sigma_r = \sigma_r^0, \quad \sigma_\varphi = \sigma_\varphi^0, \quad \sigma_z = \sigma_z^0, \quad \tau_{rz} = \tau_{rz}^0$	$\tau_{r\varphi} = \tau_{r\varphi}^0, \quad \tau_{\varphi z} = \tau_{\varphi z}^0$



$$u_\varphi = cr\varphi,$$

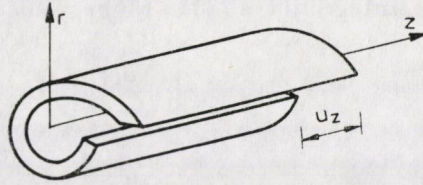
$$\varepsilon_\varphi = cr,$$

$$\sigma_\varphi = (\lambda + 2G)cr,$$

$$(\sigma_r = \sigma_z = \lambda cr),$$

$$\omega_{r\varphi} = -c\varphi.$$

a)



$$u_z = a\varphi,$$

$$\gamma_{\varphi z} = \frac{a}{2r},$$

$$\tau_{\varphi z} = G\frac{a}{r},$$

$$\omega_{\varphi z} = -\frac{a}{2r}.$$

b)

2. ábra. φ -től függő hengerszimmetrikus alakváltozási állapotok

a. Határdiszlokáció (I. variáns) b. Csavardiszlokáció (Szinguláris megoldás, $r \neq 0$)

a 2. táblázatban foglaltuk össze. (Az $u_\varphi = cr\varphi$ és az $u_z = a\varphi + B$ tagoktól eltekintettünk.)

A $cr\varphi$ és $a\varphi$ elmozdulások a 2. ábrán bemutatott deformációt eredményezik, így ezektől a forgástestek vizsgálatakor eltekinthetünk. Ezzel bebizonyítottuk, hogy ha valamely forgástest henger- illetve párosan hengerszimmetrikus alakváltozási és feszültségi állapotban van, akkor az elmozdulásmező is ugyanilyen tulajdonsággal bír.

A 2. ábrán bemutatott elmozdulásmezők a diszlokációk elméletében játszanak fontos szerepet.

Az elmozduláskomponensekben az A és a B konstansokkal jellemzett tagok a merevtestszerű elfordulást jellemzik, míg a C és a D együtthatójú tagok a merevtestszerű eltolódást írják le.

5. A sík feladatok analízise

5.1 *Síkbeli feladat.* Az (5) és a (6) egyenletek egyenértékűsége miatt elég-séges a következő egyenletrendszert vizsgálni:

$$\frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (34, 35, 36)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0. \quad (37, 38, 39)$$

Integráljuk a (34)–(36) egyenleteket:

$$u = u_0(x, y) + u_1(y, z), \quad (40)$$

$$v = v_0(x, y) + v_1(x, z), \quad (41)$$

$$w = w_0(x, y) + w_1(x, y)z. \quad (42)$$

A kapott eredményt behelyettesítve a (37)–(39) egyenletekbe, a következő összefüggéseket kapjuk:

$$\frac{\partial^2 u_1(y, z)}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^2 v_1(x, z)}{\partial x \partial z} = 0, \quad (43)$$

$$\frac{\partial^2 v_1(x, z)}{\partial z^2} + \frac{\partial w_1(x, y)}{\partial y} = 0, \quad (44)$$

$$\frac{\partial^2 u_1(y, z)}{\partial z^2} + \frac{\partial w_1(x, y)}{\partial x} = 0. \quad (45)$$

A (43) kifejezésből u_1 -re és v_1 -re a következő integrált kapjuk:

$$u_1(y, z) = y \cdot u(z) + f_u(y) + f_u(z),$$

$$v_1(x, z) = x \cdot v(z) + f_v(x) + f_v(z),$$

ahol $f_u(y)$ és a $f_v(x)$ az általánosság megsértése nélkül beolvasztható az u_0 és a v_0 tagokba.

A (44), (45) kifejezésekből következik, hogy az $u(z)$ és $v(z)$ függvények z -nek legfeljebb másodfokú polinomjai, valamint $w_1(x, y)$ lineárisan függ az argumentumaitól, továbbá $f_u(z)$ és $f_v(z)$ legfeljebb másodfokú függvényei z -nek.

Leválasztva az u_0 és a v_0 megoldásokból teljes másodfokú polinomot, a következő elmozduláskomponenseket kapjuk:

$$u = u_0(x, y) + a_{11}x^2 + a_{12}xy + a_{13}y^2 + 0.5 C_3z^2 + C_6yz + C_1z + C_u, \quad (46)$$

$$v = v_0(x, y) + a_{21}x^2 + a_{22}xy + a_{23}y^2 + 0.5 C_4z^2 - C_6xz + C_2z + C_v, \quad (47)$$

$$w = w_0(x, y) - (C_3x + C_4y + C_5)z - (C_1x + C_2y + C_6). \quad (48)$$

A másodfokú tagok együtthatóira a következő azonosság áll fenn (Lamé-féle egyenletek):

$$(\lambda + G)(2a_{11} + a_{22}) + 2G(a_{11} + a_{13}) + \lambda C_3 = 0, \quad (49)$$

$$(\lambda + G)(a_{12} + 2a_{23}) + 2G(a_{21} + a_{23}) + \lambda C_4 = 0. \quad (50)$$

4. táblázat

	Síkbeli feladat	Szimmetrikus síkbeli feladat
ε_x	$\varepsilon_x^0 + 2a_{11}x + a_{12}y$	$\varepsilon_x^0 + 2a_{11}x + a_{12}y$
ε_y	$\varepsilon_y^0 + a_{22}x + 2a_{23}y$	$\varepsilon_y^0 + a_{22}x + 2a_{23}y$
ε_z	$-(C_3x + C_4y + C_5)$	$-(C_3x + C_4y + C_5)$
γ_{xy}	$\gamma_{xy}^0 + \frac{1}{2}(a_{12} + 2a_{21})x + \frac{1}{2}(2a_{13} + a_{22})y$	$\gamma_{xy}^0 + \frac{1}{2}(a_{12} + 2a_{21})x + \frac{1}{2}(2a_{13} + a_{22})y$
γ_{yz}	$\frac{1}{2}\left(\frac{\partial w_0}{\partial y} - C_6x\right)$	0
γ_{zx}	$\frac{1}{2}\left(-\frac{\partial w_0}{\partial x} + C_6y\right)$	0
ω_{xy}	$\omega_{xy}^0 + \frac{1}{2}(a_{12} - 2a_{21})x + \frac{1}{2}(2a_{13} - a_{22})y + C_6z$	$\omega_{xy}^0 + \frac{1}{2}(a_{12} - 2a_{21})x + \frac{1}{2}(2a_{13} - a_{22})y$
ω_{yz}	$-\frac{1}{2}\frac{\partial w_0}{\partial y} - \frac{1}{2}C_6x + \frac{1}{2}C_4z + \frac{1}{2}C_2$	$\frac{1}{2}C_4z + \frac{1}{2}C_2$
ω_{zx}	$\frac{1}{2}\frac{\partial w_0}{\partial x} - \frac{1}{2}C_6y - \frac{1}{2}C_3z - \frac{1}{2}C_1$	$-\frac{1}{2}C_3z - \frac{1}{2}C_1$
σ_x	$\sigma_x^0 - G(2a_{13} + a_{22})x - G(-a_{12} + 2a_{21} + 4a_{23})y - \lambda C_5$	$\sigma_x^0 - G(2a_{13} + a_{22})x - G(-a_{12} + 2a_{21} + 4a_{23})y - \lambda C_5$
σ_y	$\sigma_y^0 - G(4a_{11} + 2a_{13} - a_{22})x - G(a_{12} + 2a_{21})y - \lambda C_5$	$\sigma_y^0 - G(4a_{11} + 2a_{13} - a_{22})x - G(a_{12} + 2a_{21})y - \lambda C_5$
σ_z	$\sigma_z^0 - G\left(4\frac{\lambda + G}{\lambda}2a_{11} + \frac{\lambda + 2G}{\lambda}2a_{13} + \frac{3\lambda + 2G}{\lambda}a_{22}\right)x -$ $-G\left(\frac{3\lambda + 2G}{\lambda}a_{12} + \frac{\lambda + 2G}{\lambda}2a_{21} + 4\frac{\lambda + G}{\lambda}2a_{23}\right)y - (\lambda + 2G)C_5$	$\sigma_z^0 - G\left(4\frac{\lambda + G}{\lambda}2a_{11} + \frac{\lambda + 2G}{\lambda}2a_{13} + \frac{3\lambda + 2G}{\lambda}a_{22}\right)x -$ $-G\left(\frac{3\lambda + 2G}{\lambda}a_{12} + \frac{\lambda + 2G}{\lambda}2a_{21} + 4\frac{\lambda + G}{\lambda}2a_{23}\right)y - (\lambda + 2G)C_5$
τ_{xy}	$\tau_{xy}^0 + G(a_{12} + 2a_{21})x + G(2a_{13} + a_{22})y$	$\tau_{xy}^0 + G(a_{12} + 2a_{21})x + G(2a_{13} + a_{22})y$
τ_{yz}	$G\left(\frac{\partial w_0}{\partial y} - C_6x\right)$	0
τ_{zx}	$G\left(-\frac{\partial w_0}{\partial x} + C_6y\right)$	0

Az elmozduláskomponenseket és a redukált Lamé-féle egyenleteket a 3. táblázatban, a deformációs, elfordulási és feszültségi tenzor komponenseit a 4. táblázatban adtuk meg.

5.2 *Szimmetrikus síkbeli feladat.* Az 5.1 pontban vizsgált (34)–(39) összefüggésekhez a

$$\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (51, 52)$$

kifejezéseket kell csatolni. Mivel ezek az előző kifejezéseket érvényben hagyják, ezért elég megvizsgálni, milyen kiegészítő feltételeket írnak elő az (51), (52) kifejezések.

Behelyettesítve a (46), (47) elmozduláskomponenseket az (51), (52) egyenletekbe, a következő differenciálegyenletet kapjuk w_0 -ra:

$$\frac{\partial w_0}{\partial y} - C_6 x = 0, \quad (53)$$

$$\frac{\partial w_0}{\partial x} + C_6 y = 0. \quad (54)$$

Integrálva (53), (54)-et, azt találjuk, hogy $C_6 = 0$ és w_0 elsőfokú polinomja argumentumainak. Így az elmozduláskomponensek:

$$u = u_0(x, y) + a_{11}x^2 + a_{12}xy + a_{13}y^2 + 0.5 C_3 z^2 + C_1 z + C_u, \quad (55)$$

$$v = v_0(x, y) + a_{21}x^2 + a_{22}xy + a_{23}y^2 + 0.5 C_4 z^2 + C_2 z + C_v, \quad (56)$$

$$w = -(C_3 x + C_4 y + C_5)z - (C_1 x + C_2 y + C_w). \quad (57)$$

Az elmozdulás komponenseket és a redukált Lamé-féle egyenleteket a 3. táblázatban, az állapotot jellemző mezők komponenseit a 4. táblázatban foglaltuk össze.

5.3 *Sík alakváltozási állapot.* Az eddig vizsgált (34)–(39) és (51), (52) összefüggéseken kívül a

$$\frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (58)$$

egyenletet is figyelembe kell venni. Ez a $C_3 = 0$, $C_4 = 0$ és a $C_5 =$ feltételt vonja maga után. Ezért az a_{ij} -együthetőségű teljes másodfokú polinom kiírásától eltekintünk. Így az elmozdulás komponensek:

$$u = u_0(x, y) + C_1 z + C_u, \quad (59)$$

$$v = v_0(x, y) + C_2 z + C_v, \quad (60)$$

$$w = -(C_1 x + C_2 y + C_w). \quad (61)$$

Az elmozduláskomponenseket és a redukált Lamé-féle egyenleteket a 3. táblázatban, az állapotot jellemző mezők komponenseit az 5. táblázatban adtuk meg.

5.4 *Sík feszültségi állapot.* Az állapot jellemzéséhez a (34)–(39) és a (51), (52) egyenleteken kívül a

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\lambda + 2G}{\lambda} \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (62)$$

5. táblázat

	Sík alakváltozási állapot	Sík feszültségi állapot
ε_x	ε_x^0	$\varepsilon_x^0 + 2a_{11}x + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_4 - 2a_{23} \right) y + a_1$
ε_y	ε_y^0	$\varepsilon_y^0 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_3 - 2a_{11} \right) x + 2a_{23}y + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_5 - a_1 \right)$
ε_z	0	$-(C_3x + C_4y + C_5)$
γ_{xy}	γ_{xy}^0	$\gamma_{xy}^0 - \frac{1}{2} (2C_4 + 4a_{23})x - \frac{1}{2} (2C_3 + 4a_{11})y$
γ_{yz}	0	0
γ_{zx}	0	0
ω_{xy}	ω_{xy}^0	$\omega_{xy}^0 + \frac{1}{2} 4 \frac{\lambda + G}{\lambda} C_4 x - \frac{1}{2} 4 \frac{\lambda + G}{\lambda} C_3 y$
ω_{yz}	$\frac{1}{2} C_2$	$\frac{1}{2} C_4 x + \frac{1}{2} C_2$
ω_{zx}	$-\frac{1}{2} C_1$	$-\frac{1}{2} C_3 x - \frac{1}{2} C_1$
σ_x	σ_x^0	$2G\varepsilon_x^0 + 2G(2a_{11} + C_3)x + 2G \left(2 \frac{\lambda + G}{\lambda} C_4 - 2a_{23} \right) y + 2G(C_5 - a_1)$
σ_y	σ_y^0	$2G\varepsilon_y^0 + 2G \left(2 \frac{\lambda + G}{\lambda} C_3 - 2a_{11} \right) x + 2G(2a_{23} + C_4)y + 2G \left(2 \frac{\lambda + G}{\lambda} C_5 - a_1 \right)$
σ_z	σ_z^0	0
τ_{xy}	τ_{xy}^0	$\tau_{xy}^0 - G(2C_4 + 4a_{23})x - G(2C_3 + 4a_{11})y$
τ_{yz}	0	0
τ_{zx}	0	0

összefüggést is figyelembe kell venni. Behelyettesítve (62)-be az (55)–(57) kifejezéseket, a következő differenciális összefüggést kapjuk u_0 -ra és v_0 -ra:

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} - \frac{\lambda + 2G}{\lambda} (C_3x + C_4y + C_5) = 0. \quad (63)$$

Ennek az egyenletnek a nemhomogén megoldásait külön feltüntetve, a következő elmozdulás komponenseket kapjuk:

$$u = u_0(x, y) + a_{11}x^2 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_4 - 2a_{23} \right) xy - \left(\frac{3\lambda + 2G}{2\lambda} C_3 + a_{11} \right) y^2 + \\ + 0.5 C_3z^2 + a_1x + C_1z + C_u, \quad (64)$$

$$v = v_0(x, y) - \left(\frac{3\lambda + 2G}{2\lambda} C_4 + a_{23} \right) x^2 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_3 - 2a_{11} \right) xy + a_{23}y^2 + \\ + 0.5 C_4z^2 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_5 - a_1 \right) y + C_2z + C_v, \quad (65)$$

$$w = - (C_3x + C_4y + C_5)z - (C_1x + C_2y + C_w). \quad (66)$$

Ekkor viszont (63) a $\partial u_0/\partial x + \partial v_0/\partial y = 0$ egyenletre redukálódik, így a Lamé-féle egyenletek u_0 -ra és v_0 -ra nézve szeparálódnak.

Az elmozdulás komponenseket és redukált Lamé-féle egyenleteket a 3. táblázatban, az állapotot jellemző mezők komponenseit az 5. táblázatban foglaltuk össze.

5.5 *Általános sík alakváltozási állapot.* Az állapotegyenletek a következők:

$$\frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (67)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad (68)$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0. \quad (69)$$

Először integráljuk a (67) egyenletet — $w_0 = w_0(x, y)$ —, majd a kapott eredményt felhasználva (68), (69)-et. Így az elmozdulás komponensek:

$$u = u_0(x, y) - \frac{\partial w_0}{\partial x} z, \quad (70)$$

$$v = v_0(x, y) - \frac{\partial w_0}{\partial y} z, \quad (71)$$

$$w = w_0(x, y). \quad (72)$$

Az elmozdulás komponenseket és a redukált Lamé-féle egyenleteket a 3. táblázatban, az állapotot jellemző mezők komponenseit a 6. táblázatban közöljük.

6. táblázat

	Általános sík alakváltozási állapot	Általános sík feszültségi állapot
ε_x	$\varepsilon_x^0 - \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} z$	$\varepsilon_x^0 - \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} z - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 \varepsilon_x^0 \frac{z^2}{2}$
ε_y	$\varepsilon_y^0 - \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} z$	$\varepsilon_y^0 - \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} z - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 \varepsilon_y^0 \frac{z^2}{2}$
ε_z	0	$-\frac{\lambda}{\lambda + 2G} (\varepsilon_x^0 + \varepsilon_y^0)$
γ_{xy}	$\gamma_{xy}^0 - \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} z$	$\gamma_{xy}^0 - \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} z - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 \gamma_{xy}^0 \frac{z^2}{2}$
γ_{yz}	0	0
γ_{zx}	0	0
ω_{xy}	ω_{xy}^0	$\omega_{xy}^0 - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 \omega_{xy}^0 \frac{z^2}{2}$
ω_{yz}	$-\frac{\partial w_0}{\partial y}$	$-\frac{\partial w_0}{\partial y} + \frac{\lambda}{\lambda + 2G} \frac{\partial}{\partial y} (\varepsilon_x^0 + \varepsilon_y^0) z$
ω_{zx}	$\frac{\partial w_0}{\partial x}$	$\frac{\partial w_0}{\partial x} - \frac{\lambda}{\lambda + 2G} \frac{\partial}{\partial x} (\varepsilon_x^0 + \varepsilon_y^0) z$
σ_x	$\sigma_x^0 - 2G \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} z$	$\sigma_x^0 - 2G \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} z - \frac{2\lambda G}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 \varepsilon_x^0 \frac{z^2}{2} - \frac{\lambda^2}{\lambda + 2G} (\varepsilon_x^0 + \varepsilon_y^0)$
σ_y	$\sigma_y^0 - 2G \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} z$	$\sigma_y^0 - 2G \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} z - \frac{2\lambda G}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 \varepsilon_y^0 \frac{z^2}{2} - \frac{\lambda^2}{\lambda + 2G} (\varepsilon_x^0 + \varepsilon_y^0)$
σ_z	σ_z^0	0
τ_{xy}	$\tau_{xy}^0 - 2G \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} z$	$\tau_{xy}^0 - 2G \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} z - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 \tau_{xy}^0 \frac{z^2}{2}$
τ_{yz}	0	0
τ_{zx}	0	0

5.6 Általános sík feszültségi állapot. Az állapotegyenletek a következők:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\lambda + 2G}{\lambda} \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (73)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad (68)$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0. \quad (69)$$

A (73) egyenletet (68), (69) segítségével az elmozdulás komponensekre megoldjuk:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\lambda + 2G}{\lambda} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = 0, \quad (74)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{\lambda + 2G}{\lambda} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = 0, \quad (75)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\lambda + 2G}{\lambda} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = 0, \quad (76)$$

valamint integráljuk a (73)-at w -re

$$w = w_0(x, y) - \frac{\lambda}{\lambda + 2G} \int \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dz. \quad (77)$$

A Lamé-féle egyenleteket (68), (69), (73) segítségével megoldjuk u -ra és v -re:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{3\lambda + 2G}{\lambda} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0, \quad (78)$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{3\lambda + 2G}{\lambda} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0. \quad (79)$$

A (74), (78) és a (75), (79) integrálásával határozzuk meg u -t és v -t

$$u = Cu_2(x, y) \frac{z^2}{2} + u_1(x, y)z + u_0(x, y), \quad (80)$$

$$v = Cv_2(x, y) \frac{z^2}{2} + v_1(x, y)z + v_0(x, y). \quad (81)$$

Ennek az általános integrálnak ki kell elégítenie a (74)–(79) differenciálegyenlet rendszert. Megoldása:

$$u = u_0(x, y) - \frac{\partial w_0(x, y)}{\partial x} z - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla u_0(x, y) \frac{z^2}{2}, \quad (82)$$

$$v = v_0(x, y) - \frac{\partial w_0(x, y)}{\partial y} z - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla v_0(x, y) \frac{z^2}{2}, \quad (83)$$

$$w = w_0(x, y) - \frac{\lambda}{\lambda + 2G} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) z. \quad (84)$$

Az elmozdulás komponenseket és redukált Lamé-féle egyenleteket a 3. táblázatban, az állapotot jellemző mezők komponenseit a 6. táblázatban foglaltuk össze.

6. A sík feladatok eredményeinek analízise

6.1 A 3. táblázatban közölt eredmények az első pillantásra igazolják a különböző állapotoknak az 1. ábrán bemutatott kapcsolatát.

A megoldásban feltüntetett egyes tagok jelentése:

- u_0 , v_0 és w_0 — z -től független elmozdulás komponensek
- C_u , C_v és C_w — merevtestszerű eltolódás
- $C_1 z$, $C_2 z$ és a — $(C_1 x + C_2 y)$ — merevtest szerűelfordulás az X (C_2) és az Y (C_1) tengely körül.

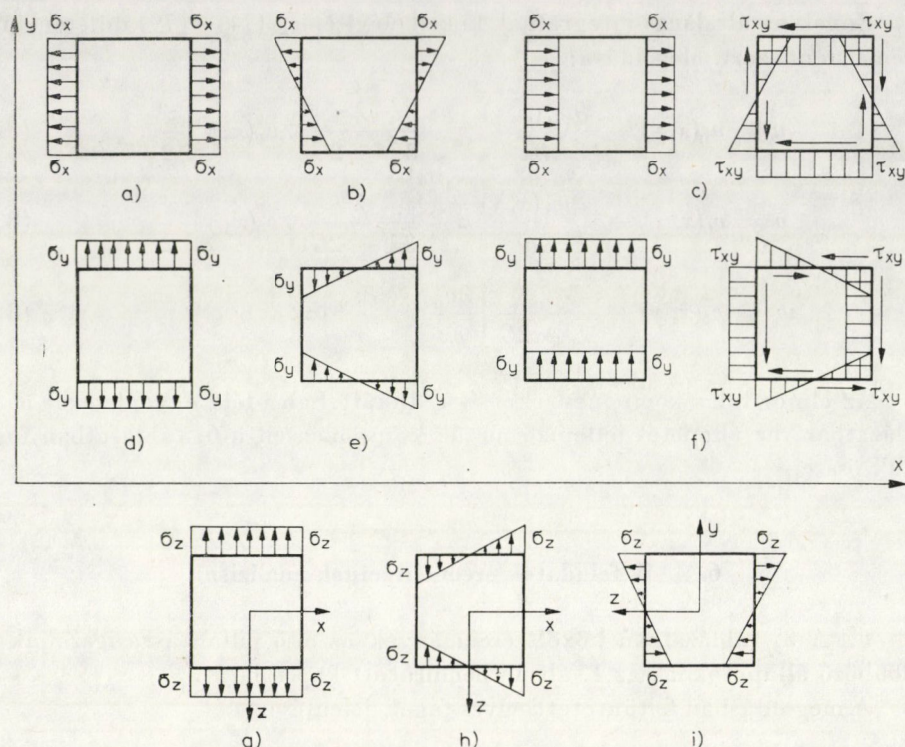
Ezek és csak ezek a tagok jelennek meg a sík alakváltozási állapot megoldásában. Ezért ezt az állapotot az első csoport reprezentánsának fogjuk nevezni. Ebben az állapotban az állapot jellemzők mind „o”-indexűek, az X és az Y tengely körüli merevtestszerű elfordulás kivételével, z -től függetlenek.

A szimmetrikus síkbeli feladat mindössze a \mathbf{k} normálisú alaplapon ható N_z normálerő, M_x és M_y hajlítónyomaték és az egész test teljes felületén ható Q nyíróerő figyelembevételével bővebb állapot. Ezek az erőhatások z -től függetlenek, és az elemi kocka felületén három normál feszültséggént és egy nyírófeszültséggént ábrázolhatók (3. ábra).

A síkbeli feladat a reprezentánstól az előbb említett erőhatáson kívül a Z tengely körüli csavarással bővebb állapot.

A dolgozatban a sík feszültségi állapotra speciális elmozdulásmezőt nyerünk: u_0 és v_0 kapcsolt harmonikus függvények. Ezen kívül az

$$u = a_{11}x^2 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_4 - a_{23} \right) xy - \left(\frac{3\lambda + 2G}{2\lambda} C_3 + a_{11} \right) y^2 + 0.5C_3 z^2 + a_{11}x,$$



3. ábra. Az $u = \frac{C_3}{2} z^2$ és $v = \frac{C_4}{2} z^2$ elmozdulással kompatibilis feszültségi állapotok felbontása x és y szerint

a) N_x normálérő; b) M_{xz} hajlítónyomaték; c) x irányú $\sigma - \tau$ egyensúlyi állapot; d) N_y normálérő; e) M_{yz} hajlítónyomaték; f) y irányú $\sigma - \tau$ egyensúlyi állapot; g) N_z normálérő; h) M_{zy} hajlítónyomaték; i) M_{zx} hajlítónyomaték

$$v = - \left(\frac{3\lambda + 2G}{2\lambda} C_4 + a_{23} \right) x^2 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_3 - a_{11} \right) xy + a_{23} y^2 + 0.5 C_4 z^2 + \\ + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_5 - a_1 \right) y,$$

$$w = - (C_3 x + C_4 y + C_5) z$$

eltolódással jellemzett állapot is sík feszültségi állapotot eredményez. Mivel ez az állapot mindössze 5 paraméteres, ezért nem lehet jellemzője a sík feszültségi állapotoknak. Így a $\sigma_z = 0$ összefüggésből kiindulva

$$\varepsilon_z^0 = - \frac{\lambda}{\lambda + 2G} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial u_0}{\partial y} \right) = 0,$$

azaz a sík feszültségi állapot speciális esete a sík alakváltozási állapotnak ($\sigma_z = 0$). Ekkor a $\lambda' = 2\lambda G/(\lambda + 2G)$ és a $G' = G$ új rugalmassági modulusok bevezetésével a sík feszültségi állapot fenntartás nélkül áttanszformálható a sík alakváltozási állapotba.

A második csoportba tartozó általánosított sík feladatok a reprezentáns-tól a w_0 tag jelenlétében különböznek, valamint abban, hogy ezek a megoldások nem függetlenek z -től. A w_0 és a $\nabla_0^2 u_0$, illetve a $\nabla_0^2 v_0$ tagok harmonikusak, így csak alakváltozással járó megoldást szolgáltatnak. Figyelembe véve, hogy az $\epsilon_x^0 + \epsilon_y^0$ kifejezés harmonikus, az $\int_{-z_0}^{+z_0} dz$ formai integrálással a ∇_0^2 operátoros tagokat a „beolvaszthatjuk” a z -től független „o” indexű tagokba, így az általános sík feszültségi állapotot — eltekintve az ϵ_z és a σ_z viszonyától — visszavezethetjük az általános sík alakváltozási állapotra.

6.2 A kapott eredmények összehasonlítása a szakirodalomban található eredményekkel. A szakirodalomban a fenti hat típusú feladatra való felosztás és megnevezésben való elkülönítése nem található meg. KALISZKY [13] alkalmaz felosztást; az (5)–(10) egyenletek teljesülése esetében sík feladatról beszél, a (3a) és a (4a) nullfeltételek fennállásával értelmezi a sík alakváltozási és feszültségi állapotokat.

NOWACKI sík feszültségi állapotként a sík feladatot definiálja; ezzel összhangban levő eredményre jutottunk. LURJE és LOVE sík feszültségi állapotként az általános sík feszültségi állapotot definiálja; ezzel megegyező eredményre jutottunk — figyelembe véve, hogy $\lambda/(3\lambda + 2G) = 1/4(1 - \mu)$.

A sík feszültség állapot esetében, az itt közölt definíciót alapul véve, eltérő eredményt kaptunk. A tanulmányban analizált sík feszültségi állapot a sík alakváltozási állapot speciális esete — $\sigma_z = 0$. Ekkor a rugalmassági modulusok transzformációjával maga a sík feszültségi állapot is áttanszformálható sík alakváltozási állapotba.

7. Összefoglalás

A tanulmányban rendszereztek és analizáltak a hengerszimmetrikus és sík feladatokat. Szakirodalmi áttekintést adtunk a feladatok meghatározásairól, és rámutattunk azok eltéréseire. Az eltérő meghatározásokat különböző feladatoknak tekintve, új típusú állapotokat definiáltunk mind a hengerszimmetria fennállásánál, mind a sík feladatoknál.

Megadtuk az újonnan bevezetett állapotok egységes definícióit, az állapotokat meghatározó egyenleteket, valamint a megoldások (elmozdulás komponensekre érvényes) függvényosztályait.

Az analízis során megmutattuk, hogy az egységesen definiált állapotok egy-egy feszültségi összetevővel különböznek egymástól, és hogy csak ebben a felfogásban lehet a sík feszültségi állapotot a rugalmassági modulusok transzformációjával visszavezetni a sík alakváltozási állapotra.

A síkbeli feladat, a sík alakváltozási és az általános sík feszültségi állapot esetében a szakirodalommal egyező eredményre jutottunk.

Az egyes feladatokat általánosságban oldottuk meg, de olyan részletességgel, hogy konkrét feladat megoldása során bármely numerikus megoldási séma alkalmazható.

IRODALOM

1. Арутюнян, Н. Х.—Абрамян, Б. Л.: Кручение упругих тел, Физматгиз, Москва 1963 г.
2. Безухов, Н. И.: Основы теории упругости, пластичности и ползучести, Высшая школа, Москва 1968 г.
3. Безухов, Н. И.—Лужин, О. В.: Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач, Высшая школа, Москва 1974 г.
4. SCHOENLOCH Tibor: Mechanika, II. kötet, Szilárdságtan, Tankönyvkiadó, Budapest 1971
5. CLOUGH, R. W., RASCHID, Y. R.: Finite Element Analysis of Axi-Symmetric Solids, *Proc. ASCE*, 91 EM 1, (1965)
6. Филин, А. П.: Прикладная механика твердого деформируемого тела, Том 1. Наука Москва 1975 г.
7. Филоненко-Бородич М. М.: Теория упругости, *ГОСТЕХИЗДАТ*, Москва 1974 г.
8. FÖRPL, A.—FÖRPL, L.: Drang und Zwand, Band I. München 1924
9. HAJÓS György: Bevezetés a geometriába. Tankönyvkiadó, Budapest 1966
10. Handbuch der Physik, Redigiert von GRAMMEL, R. Band VI. Mechanik der elastischen Körper, GESKELE, J. W.: Statik der elastischen Körper, Springer, Berlin 1928
11. Handbuch der Physik, Herausgegeben von FLÜGGE, S. Band VI. Elastizität und Plastizität, SNEDDON, J. N.—BERRY, D. S.: The Classical Theory of Elasticity. Springer-Verlag, Berlin 1958
12. Каландия А. И.: Математические методы двумерной упругости, Наука, Москва 1973 г.
13. Kaliszky Sándor: Képlékenységtan, Akadémiai könyvkiadó, Budapest, 1975
14. Колосов Г. В.: Применение комплексного переменного к теории упругости, *ГОСТЕХИЗДАТ*, Москва 1935 г.
15. Колтунов М. А.—Васильев Ю. Н.—Черных В. А.: Упругость и прочность цилиндрических тел, Высшая школа, Москва 1975 г.
16. Ламер Г.: К расчету толстой цилиндрической оболочки при действии осесимметрической нагрузки, *Acta Tech. Hung.*, 87/3—4, Budapest 1978
17. Лейбензон Л. С.: Курс теории упругости, *ГОСТЕХИЗДАТ*, Москва 1947 г.
18. LOVE, A. E.: A Treatise on the Metemetical Theory of Elasticity, Cambridge 1927
19. Лурье А. И.: Теория упругости Наука, Москва 1970 г.
20. Matematikai kislexikon. Szerk. FARKAS Miklós. Műszaki könyvkiadó, Budapest 1972
21. MÁRKUS Gyula: Körszimmetrikus szerkezetek elmélete és számítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1971
22. Мусхелишвили Н. И.: Некоторые основные задачи математической теории упругости Наука Москва 1966 г.
23. NAGY Tamás—SZILÁGYI György: Általános, többretegű rendszer terhelés alatti viselkedésének vizsgálata a véges elemek módszerével, Kutatási jelentés, I rész, Budapest 1975
24. Новацкий В.: Теория упругости МИР, Москва 1975 г.
25. ODEN, J. T.: Finite Elements of Nonlinear Continua McGraw-Hill, New York 1972
26. Прочность устойчивость колебания Справочник в трех томах, Под общей редакции: Бургера И. А. и Пановко Я. Г.: Машиностроение, Москва 1968 г.
27. RASCHID, Y. R.: Analysis of Axisymmetris Composite Structures by the Finite Element Method, *Nucl. Eng. Desing.* 3. (1966)
28. Szily Kálmán: Szilárdságtan. Technika, Budapest 1921
29. Скрин Э.—Рой Дж. Р.: Автоматическая система для кинематического анализа ASKA, В сборнике: Расчет упругих конструкций с использованием ЭВМ (пер. с англ.), СУДОСТРОЕНИЕ. Ленинград 1974 г.
30. Соляник-Красса, К. В.: Кручение валов переменного сечения, *ГОСТЕХИЗДАТ*, Москва 1949 г.
31. Справочник по теории упругости, Под ред. Варвака, П. М. и Рябова, А. Ф. Будівельник, Киев 1971 г.

32. Тимошенко, С. П.: Курс теории упругости, (Az 1914—16-ban megjelent kétkötetes mű új kiadása.) Наукова думка, Киев 1972 г.
33. TIMOSHENKO, S. P.: Theory of Elasticity. McGraw-Hill, New York 1934
34. TIMOSHENKO, S. P.—GOODIER, J. N.: Theory of Elasticity. McGraw-Hill, New York 1970
35. Уфлянд, Я. С.: Интегральные преобразования в задачах теории упругости, Наука, Ленинград 1968 г.
36. Власов, В. З.: Общая теория оболочек, ГОСТЕХИЗДАТ, Ленинград 1949 г.
37. WILSON, E. L.: Structural Analysis of Axi-Symmetric Solids, *J. AIAA* 3 (1965)
38. ZIENKIEWICZ, O. C.: The Finite Element Method in Engineering Science McGraw-Hill, London 1971

Cylinder-symmetrical and Plane Problems. — Cylinder-symmetrical and plane problems are analysed and systematized. A review has been given on the pertinent professional literature in connection with the definitions of the problems to be solved and the divergencies in them have been pointed out. By regarding the diverging definitions to be different problems, new types of state have been defined both in connection with the existence of cylindrical symmetry and with the inplane problems. A uniform system of definitions of the newly introduced problems, the equations which determine each state as well as the function classes of the solutions (which are valid in connection with the displacement components) have been established. It has been proved that the uniformly defined states differed merely by one single stress component in each of the cases from each other, and only in that conception can the plane stress pattern be traced back to the plane deformation state by the transformation of the moduli of elasticity.

Über die zylindersymmetrischen und ebenen Aufgaben. — In der Abhandlung sind die zylindersymmetrischen und ebenen Aufgaben analysiert und systematisiert. Eine Übersicht über die Fachliteratur im Zusammenhang mit den Definitionen der Aufgaben wurde vorgeführt, und auf die Abweichungen derselben hingewiesen. Zustände von neueren Typen wurden definiert, indem die abweichenden Definitionen als unterschiedliche Aufgaben betrachtet wurden, sowohl im Fall der Existenz der Zylindersymmetrie als auch im Zusammenhang mit den ebenen Aufgaben. Die einheitlichen Definitionen der neulich eingeführten Zustände, die diese letzere definierenden Gleichungen und die (für die Verschiebungskomponenten gültigen) Funktionklassen der Lösungen wurden gegeben. Es wurde nachgewiesen, daß die einheitlich definierten Zustände sich voneinander nur in gewissen Spannungskomponenten unterscheiden, und der ebene Spannungszustand nur in dieser Konzeption durch die Transformation des Elastizitätsmoduls auf den ebenen Verformungszustand zurückgeführt werden kann.

AZ EGYSZERŰ NYÍRÁS ELVE, KÍSÉRLETI TECHNIKÁJA

REOLÓGIAI VIZSGÁLATOK EGYSZERŰ NYÍRÓGÉPPEL

SZABÓ IMRE*

[Beérkezett: 1980. október 14-én]

A természetben előforduló igen lassú mozgások (folyások, kúszások) vizsgálatánál, laboratóriumi modellezésénél sok esetben a hagyományos talajmechanikai módszerek nem elegendőek, s olyan új kutatási, vizsgálati módszerek szükségesek, amelyek a reológia törvényeire épülnek és amelyek lehetővé teszik, hogy a feszültségviszonyokat, a folyási sebességeket a várható geometriai viszonyokat a lassú mozgásban levő anyagnál meghatározzuk. Jelen tanulmány egy, a reológiai vizsgálatok számára alkalmassá tett, az egyszerű nyírás elvét megvalósító nyírókészüléket mutat be, majd ismertet néhány reológiai vizsgálatot és közelítő anyagegyenletet. A kísérletek mesterségesen előkészített mintákkal történtek, de természetesen valós anyagokon a vizsgálatok ugyanígy elvégezhetők, csupán a kapott paraméterek számszerű értékei fognak eltérni.

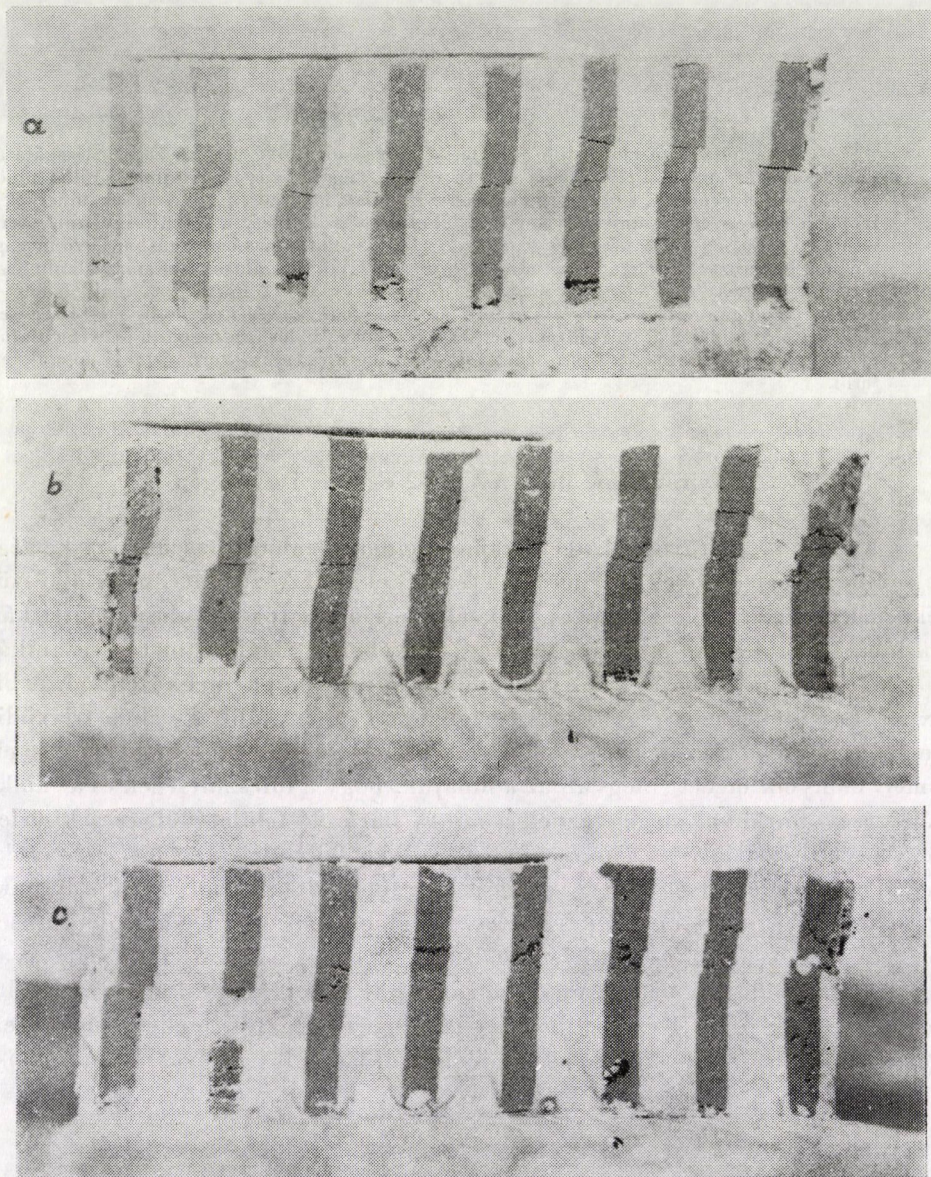
1. Nyíróvizsgálatok. A VSG-2 egyszerű nyírógép

A talajok nyírószilárdsági paramétereinek meghatározására ma kétségtelenül legelterjedtebbek a triaxiális készülékek, bár köztudott, hogy a készülékben létrehozható feszültségi-, alakváltozási állapotok a valóságban ritkán fordulnak elő. A mind jobb megismerés érdekében a triaxiális mérési technikát is igyekeznek javítani, a valós viszonyokat mind jobban megközelíteni. A bi-axiális készülékek már régebben ismertek, lényegesen újabb a valódi triaxiális készülék, melyet BICZÓK [5] röviden ismertet. A triaxiális készülékeknek az elismert előnyeik mellett megvan az a hibájuk, hogy a főfeszültségek és az alakváltozások főirányai megegyeznek a minta határoló felületével, és a kísérlet közben változatlanok, s ez nem minden esetben felel meg a valós viszonyoknak. Például alaptestek alatt, terheléskor a főfeszültségi irányok elfordulnak. DUNCAN—BOLTON SEED [43] részletesen foglalkoznak egy bevágás létesítésekor fellépő főfeszültség — átorientálódással, és ennek a nyírószilárdságra gyakorolt hatásával, amikor a rendszer anizotrop. Elsősorban gyakorlati oka volt, hogy az utóbbi másfél évtizedben a triaxiális vizsgálatok mellett ismételten előtérbe került a nyíróvizsgálatok többféle változata, így az egyszerű nyírás is.

* Dr. Szabó Imre, Nehézipari Műszaki Egyetem Földtan-Teleptani Tanszék, 3515 Miskolc

1.1. A közvetlen (direkt) nyíróvizsgálatok hibái

Hazánkban szinte kizárólagosan a közvetlen (direkt) nyírókészülékek (az ún. „nyíródobozok”) ismertek, s használatosak, közismerten sok hibájuk ellenére is, amelyeket röviden az alábbiak szerint foglalhatunk össze [16, 19, 20, 25]:



1. ábra

1. nem csupán a beépített minta nyírási ellenállását mérjük, hanem a készülék részei pl. a két nyíródoboz súrlódást is. Gondos munkával ez kiküszöbölhető.

2. A nyírt felület a mérés során változik. Ezen hiba kiküszöbölésére a HVORSLEV [16], illetve KÉZDI [21] által javasolt egyszerű korrekciót használhatjuk.

3. A minta teljes keresztmetszete mentén nem egyenletes az elmozdulás. Ugyancsak HVORSLEV mutat rá arra, hogy a két véglap, valamint az oldal-falak mentén ún. *progresszív tönkremeneteli* zóna alakul ki. Jól szemlélteti ezt az 1. ábra, amelyen kvarcliszt őrlemény nyírás utáni képe látható. Annak érdekében, hogy az elmozdulások jól nyomon követhetők legyenek, a mintába 4 mm átmérőjű kis furatokba színezett kvarcliszt őrleményt helyeztünk, majd konszolidáltatás után a mintát elnyírtuk.

4. HVORSLEV víztartalom-eloszlási vizsgálatai azt mutatták, hogy a víztartalom kisebb a minták középpontjában, mint a szélső felületeken. Az oka nem tisztázott, a többletvíz származhatik a szűrőkővekből abszorpció révén és/vagy okozhatja a feszültségek koncentrációja is.

5. A nyíróerő excentrikus alkalmazása a próbatest hajlítását okozza [25].

6. A közvetlen nyírókészülékek legnagyobb hibája, hogy nem ismerjük a mintában a feszültségeloszlást, így a nyírófeszültséget tulajdonképpen egy fiktív keresztmetszet alapján számítjuk.

1.2. Az egyszerű nyírókészülékek kísérleti technikája

1.2.1. Az „egyszerű” nyírás elve

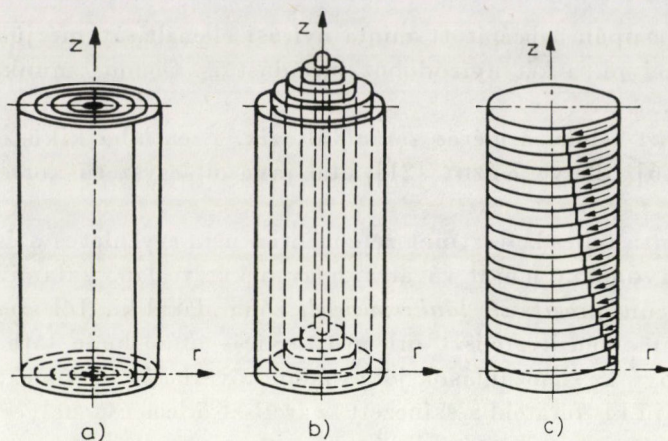
Az egyszerű nyírás a REINER [31] által megfogalmazott *lamináris alakváltozás* (2. ábra) speciális esete, amikor az egymáson elmozduló felületek síkok. Tekintsük deformálatlan elemi hasábunknak pl. az xy és yz síkkal párhuzamos lapjait és az ezek közötti derékszögnek deformáció közbeni megváltozását, (3. ábra). Ha az xz síkkal párhuzamos lap változatlan marad, a két lap közötti derékszög hegyesszögbe megy át, pl. akkor, ha az y koordinátájú élt rögzítve az $(y+dy)$ koordinátájú él az x tengellyel párhuzamosan eltolódik x irányban.

Ilyenkor „egyszerű nyírásról” beszélünk, amelynek eredményeként az xy síkban fekvő, eredetileg négyzet alaplap rombuszba megy át. A szögváltozás mértéke

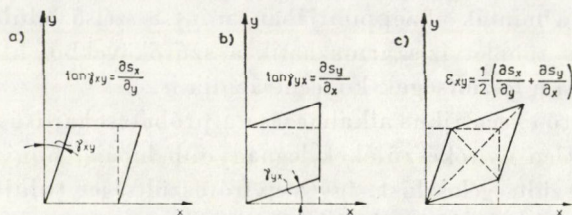
$$\tan \gamma_{xy} = \frac{\partial s_x}{\partial y},$$

vagy, mivel $\partial s_x / \partial y$ nagyon kicsi mennyiség,

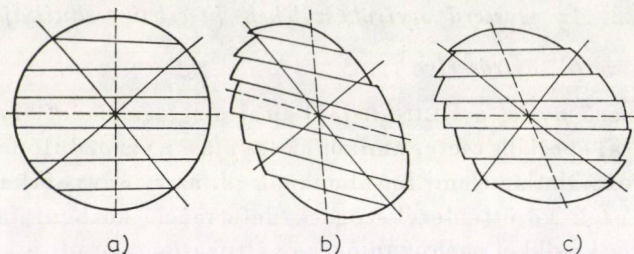
$$\gamma_{xy} \approx \frac{\partial s_x}{\partial y}.$$



2. ábra



3. ábra



- a) deformálatlan gömb
 b) tiszta nyírással kapott ellipszoid
 c) egyszerű nyírással kapott ellipszoid

A folyamatos vonal: a deformációs főirányok

4. ábra

Ugyanilyen szögváltozás elérhető úgy is, hogy az x koordinátájú élt hagyva változatlanul az $(x+dx)$ koordinátájú élt tolódik el az y tengellyel párhuzamosan az y irányban. Ekkor a változás mértéke

$$\gamma_{yx} \approx \frac{\partial s_y}{\partial x}.$$

Amennyiben

$$\gamma_{yx} = \gamma_{xy},$$

akkor a

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{2}(\gamma_{xy} + \gamma_{yx}) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial s_x}{\partial y} + \frac{\partial s_y}{\partial x} \right)$$

deformációkomponens a rotációtól mentes ún. „tisztá nyírás” mértékét fejezi ki. Ilyenkor az xy síkkal párhuzamos négyzetlap átlói irányukat nem változtatják meg, közülük az egyik megnyúlik, a másik pedig azonos mértékben rövidül. Ezzel szemben az egyszerű nyírásakor a deformáció főtengelei elfordulnak. Nagyon szemléletesen mutatja be ezen viszonyokat REINER [31] vékony lemezekből összeállított gömbmodelljén (4. ábra).

1.2.2. A VSG-2 egyszerű nyírókészülék

A nemzetközi gyakorlatban az egyszerű nyírókészülékek számos változata terjedt el. Ezek közül a legismertebbek KJELLMANN [12], BJERRUM—LANDVA [8] nyírógépei, valamint ROSCOE és munkatársai [33—35] által kifejlesztett „Mark” típusjelzésű készülékek, melynek egyik legutóbbi változatáról rövid ismertetést [5]-ben is olvashatunk.

Kísérleteink során az egyszerű nyírókészülékek közül a VSG-2 típusjelzésű (Visco-Schergerät) készüléket használtuk, melyet a Freibergi Bányászati Akadémián FISCHER, P. [12—14] kifejlesztett ki, s a Nehézipari Műszaki Egyetem Földtan-Teleptani Tanszékén módosítottunk.

Az alapkészülék műszaki adatai:

- a) Mintaátmérő: 94,4 (mm) ($F = 70,0 \text{ cm}^2$)
- b) Minta magassága: 10,1—22,7 [mm]
- c) Normál terhelés: 0—1,0 [MPa]
- d) Nyíró feszültség: 0,0—0,8 [MPa]
- e)* Sebességgradiens: $10^{-2} \div 10^{-12} \text{ (s}^{-1}\text{)}$
- f)* Viskozitás: $10^9 \div 10^{15} \text{ [Pa} \cdot \text{s]}$
- g) Nyírási sebesség: 1 mm/min.

Mint látható a sorozatgyártásra került készüléken az 1 mm/perc nyírási sebesség nagyon nagy érték. Egyrészt azért, mert nem önműködő regisztrálás esetében a kísérlet folyamatos követése nagyon nehéz, másrészt azért, mert a vízáteresztőképesség nagyságától függően jelentős pórusvíznyomás léphet fel még akkor is, ha a víztávozást biztosítjuk.

Ismert, hogy a kísérlet során kapott nyírószilárdsági érték függ a terhelés és az alakváltozás sebességétől is. A fentiek alapján célszerűnek mutatkozott a készülék átalakítása a következő szempontok szerint:

a) A készülék alkalmas legyen többlépcsős, állandó nyírási sebesség mellett végzett kísérletek végrehajtására, amelyekkel megközelíthetők a természetben lejátszódó kúszási jelenségek igen kis sebességi értékei.

* Az e) és f) alattiak a FISCHER által a [12] és [13]-ban ismertetett kísérleti módszer és az általa használt reológiai modell alapján nyert értékek.

b) A készülék alkalmas legyen többlépcsős, állandó feszültségváltozási sebesség mellett végzett kísérletek végrehajtására.

Figyelembe véve, hogy a készülék felépítésénél fogva alkalmas állandó nyírófeszültséggel (amely az átalakítás után mind lépcsőzetes, mind folyamatos terhelés mellett elérhető) végzett vizsgálatokra, a fenti módosításokkal a legfontosabb alábbi reológiai vizsgálatok is elvégezhetők:

1. $\dot{\epsilon}$ = konstans (arányos terhelési próba)
2. $\dot{\gamma}$ = konstans (arányos alakváltozási próba)
3. τ = konstans (kúszási próba)
4. γ = konstans (relaxációs próba)

Az 1÷4 próba értelmezése és végrehajtása részletesen megtalálható ASSZONYI—HUSZÁR—KAPOLYI [1], ASSZONYI—KAPOLYI [4], NAGY [32]; LANGER [26] munkáiban.

Először nézzünk meg néhány példát, hogy az a) pont alatti feltétel mit jelent. BILZ [6] mérései német külfejtések hányóinak elmozdulásakor $10^{-5} \div 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ SCHOEWE megfigyelései átlagosan 10^{-7} s^{-1} sebességgradiens értékeket adtak. ZIMMERMANN az olaszországi Sta. Barbara külfejtés hányóján 1964 áprilisában 0,29, 1955 márciusában 0,0075, decemberében 0,0011 mm/perc értékeket mért, és a mozgás csak két év múlva szűnt meg. HAEFELI [15] több példát is említ, többek között a peideni (Svájc) templomot, mely 67 év alatt vízszintesen 15 m-t, függőlegesen 3 m-t mozdult el, ami megfelel $4,3 \cdot 10^{-4} \text{ mm/perc}$ kúszási sebességnek. A templom morénatörmeléken áll, alatta erősen mállott, lejtő irányban dűlő, rétegzett pala található. A Chur-Arosa vasút (Svájc) egyik 30 m magas pillére — melyet vastag, mintegy 35° -os lejtőszögű törmelékkúpba közel 10 m mélyen alapoztak — a 16 éves mérési periódus alatt (1939÷1955) gyakorlatilag konstans kúszási sebességet mutatott ($3,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/perc}$). Teljesen hasonló értéket ismertetett MESZCSJAN [28]. Harmadkori pelites tufára települt közel 60 m vastag alluvium lassú mozgását ($2 \text{ cm/év} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm/perc}$) írja le Deoragesz (Örmény SzSzK) környékén. Hasonló sebességeket mértek egyes gleccserek mozgásakor, mint pl. Hintereis-ferner gleccser: $0,0023 \div 0,024$ (HESS, 1924), Karakorum-gleccser: 0,089 (VISSER, 1935), Aletsch-gleccser, 0,043—0,38 mm/perc (MOOS—HAEFELI, 1962). (lásd [6]-ban).

A fentiek figyelembevételével a nyírókészülékbe 3 db fordulatszámcsökkentő fogaskerékházat építettünk be, melyek a terhelőberendezés előtolási sebességét egyenként 1/14-ed részére csökkentik, s így a készülék alkalmassá vált négy különböző nyírási sebesség melletti kísérlet végrehajtására:

$v_1 = 1$	mm/perc
$v_2 = 7,14 \cdot 10^{-2}$	mm/perc
$v_3 = 5,1 \cdot 10^{-3}$	mm/perc
$v_4 = 3,64 \cdot 10^{-4}$	mm/perc

A leggyakrabban használt 10 mm mintamagasság esetében a kísérletek $1,66 \cdot 10^{-3} > D > 6,06 \cdot 10^{-7} [\text{s}^{-1}]$ sebességgradiensek (D) mellett végezhetők.

Ezen nyírási sebesség illetve sebességgradiens értékek mellett végzett nyírókísérletek már alkalmasak arra, hogy velük a természetben lejátszódó lassú alakváltozások sebességviszonyait megközelítsük, modellezzük.

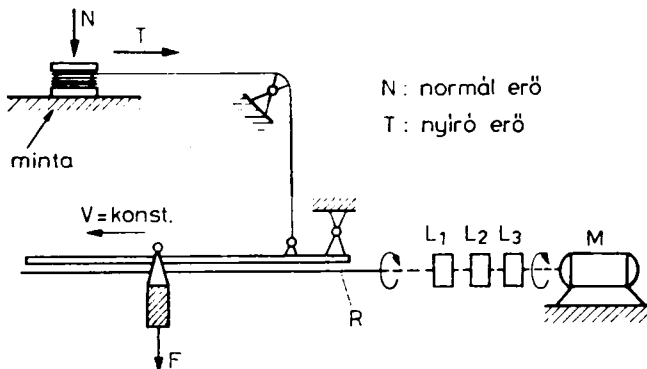
A *többlépcsős, állandó feszültségváltozási sebesség* melletti kísérletek kialakításához tekintsük át a rendelkezésre álló kísérletek anyagát. Viszonylag ritkán találkozunk ilyen típusú vizsgálatokkal — s akkor is elsősorban egyirányú nyomó, ill. triaxiális igénybevételnél — mert kísérleti megvalósítása lényegesen nehezebb, és a standard készülékek általában nem alkalmasak ezen kísérletek elvégzésére. Gyakorlati szempontból viszont talán a leglényegesebb, hiszen a valós viszonyokat legjobban közelíti meg.

Néhány kísérlet legfontosabb adatait az 1. táblázat tünteti fel.

A táblázatban található jelölések:

w_L	folyási határ (%)
I_p	plasztikus index (%)
w	természetes víztartalom (%)
ϱ_n	természetes állapot sűrűsége (g/cm^3)
n	hézagterfogat (—)
S	telítettség (—)
E	rugalmassági modulus (MPa)
Φ	belső surlódási szög (fok)
c	kohézió (MPa)

Az egyenletes sebességű terhelésátvitel megvalósítása a VSG-2 nyírókészülék esetében könnyen megvalósítható, ha a nyíróerőt biztosító súlyt egyenletes sebességgel mozgatjuk, mint azt az 5. ábrán látható elvi vázlat mutatja. Az átalakulások után a nyírókészülékkel a 2. táblázatban közölt feszültségváltozási sebességekkel lehet kísérletet végrehajtani, s mint látjuk az az 1. táblázatban közölt értékeket teljesen átfogja.

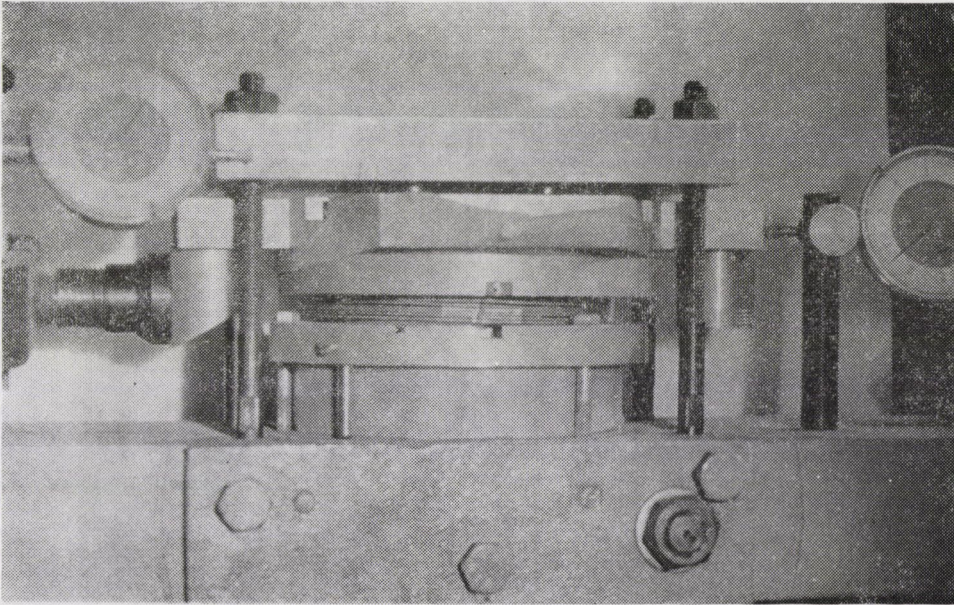


5. ábra

1. táblázat

Állandó feszültségváltozási sebesség mellett végzett kísérletek áttekintése

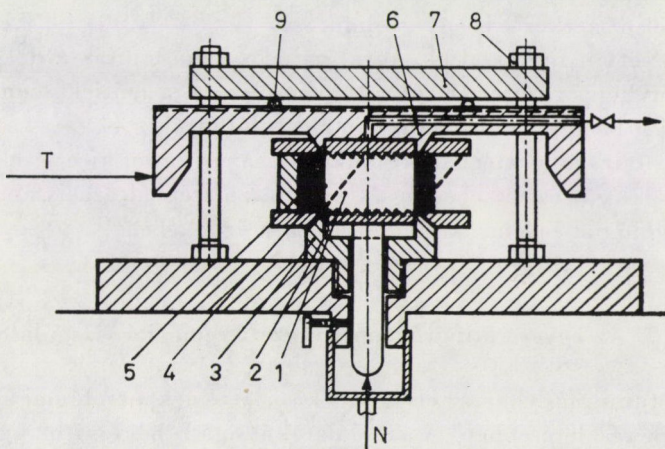
Szerző(k)	Vizsgált anyag	Kőzetfizikai jellemzők	Mintatest	Igénybevételi mód	Feszültségváltozási [MPa/perc] sebesség
Asszonyi — Huszár — Kapolyi [1]	Agyagos márga		henger $\varnothing 18 \times 30$ természetes	egyirányú	0,0317 — 0,116
Asszonyi — Kapolyi [4]	Édesvizi mészkő	$E = 1,82 - 2,54 \cdot 10^3 \text{ MPa}$; $\Phi = 30^\circ$ $c = 5,0 - 23,0 \text{ MPa}$	henger $\varnothing 20 \times 30$	egyirányú	0,488 — 2,125
	agyagmárga	$\Phi = 10^\circ$; $c = 1,0 - 30,0 \text{ MPa}$	természetes		0,225 — 0,332
	márga	$E = 4,34 \cdot 10^3 \text{ MPa}$; $\Phi = 28^\circ$			0,122 — 0,981
Nagy S. [32]	Gödöllői barna talaj	Arany f. kötöttségi szám: 28,75 $\text{CaCO}_3\% = 20,8$; illit: 5% kvarc: 55%; kalcit: 13% stb.	henger $h/d = 2$ mesterséges	egyirányú	0,10 — 4,50
Scheffler, H. [36]	Gyengén agyagos erősen homokos szerves iszap	$W_L = 25,2\%$; $I_p = 19,8\%$; $\rho_n = 2,1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $W = 13,0\%$; $n = 0,33$; $S = 0,73$	henger $\varnothing 38 \times 75$ mesterséges	triaxiális	0,01333 0,00667 0,00333 0,00167
Lomize, T. M. — Gutkin, A. M Zsukov N. V. [27]	Szaratovi agyag	$W_L = 75,8\%$; $I_p = 38,8\%$	hasáb $71 \times 71 \times 30$	egyszerű nyírás	0,0021 0,0010 0,0003
Kawakami, F. Ogawa, S. [17]	Agyag és homok keveréke	A típus: $W_L = 68,0\%$, $I_p = 42,0 \%$ B típus: $W_L = 39,0\%$, $I_p = 6,0\%$	henger $\varnothing 38 \times 75$	egyirányú és triaxiális	0,0017 — 0,0018



6. ábra

A 6. ábra a minta körüli rész fényképét, a 7. ábra ugyanezen rész met-
szetét mutatja.

A készülékbe az 1 mintatérbe kerül a 94,4 mm átmérőjű ($F = 70 \text{ cm}^2$),
előkészített minta. A nyíráshoz $10 \div 20 \text{ mm}$ szabad mintamagasság áll ren-
delkezésre, mely a 3 talpazatban mozgó 2 dugattyúval biztosítható. A készül-
ékben mind zavart, mind zavartalan minták vizsgálhatók, és a dugattyú moz-



7. ábra

2. táblázat

*Lehetséges nyírófeszültségváltozási sebesség értékek
az átalakított VSG-2 nyírókészüléken [MPa/perc]*

Fordulat- szám lassítók száma	Nyírás F_1 súllyal	Nyírás F_2 súllyal
0	2,407 \div 0,848	1,27 \div 0,448
1	0,171 \div 0,060	0,0908 \div 0,0320
2	0,0123 \div 0,0043	0,0085 \div 0,0023
3	0,00088 \div 0,0003	0,00045 \div 0,00010

gása — mely egyben a normál erőt is biztosítja — lehetővé teszi nemcsak előre elkészített, hanem a készülékben konszolidáltatott minták vizsgálatát is. Törekedni kell arra, hogy a dugattyú minél jobban megközelítse a talpazat-bemélyítés peremét, vagyis minél kisebb legyen a „holt zóna”, mivel a „holt zóna” növekedtével a nyírási mechanizmus egyre jobban eltér az egyszerű nyírástól, és a valóságosnál kisebb nyírószilárdság értékeket kapunk a fellépő progresszív törés miatt, [ROSCOE, FISCHER]. A beépített mintát gumiköpeny veszi körül 4, s az oldalmegtámasztást, valamint a kényszerfelület nélküli elmozdulást nyírógyűrűk 5 biztosítják. A normálerőt (N) a dugattyú (2) a (8) csavarokkal rögzített ellenlemez segítségével biztosítja. A nyíróerőt (T) a (6) fedlap adja át a mintára. A nyírógyűrűk és az acélgolyók (g) okozta ellenállás gyakorlatilag zérus, mint ezt FISCHER vízzel töltött készülékkel igazolta.

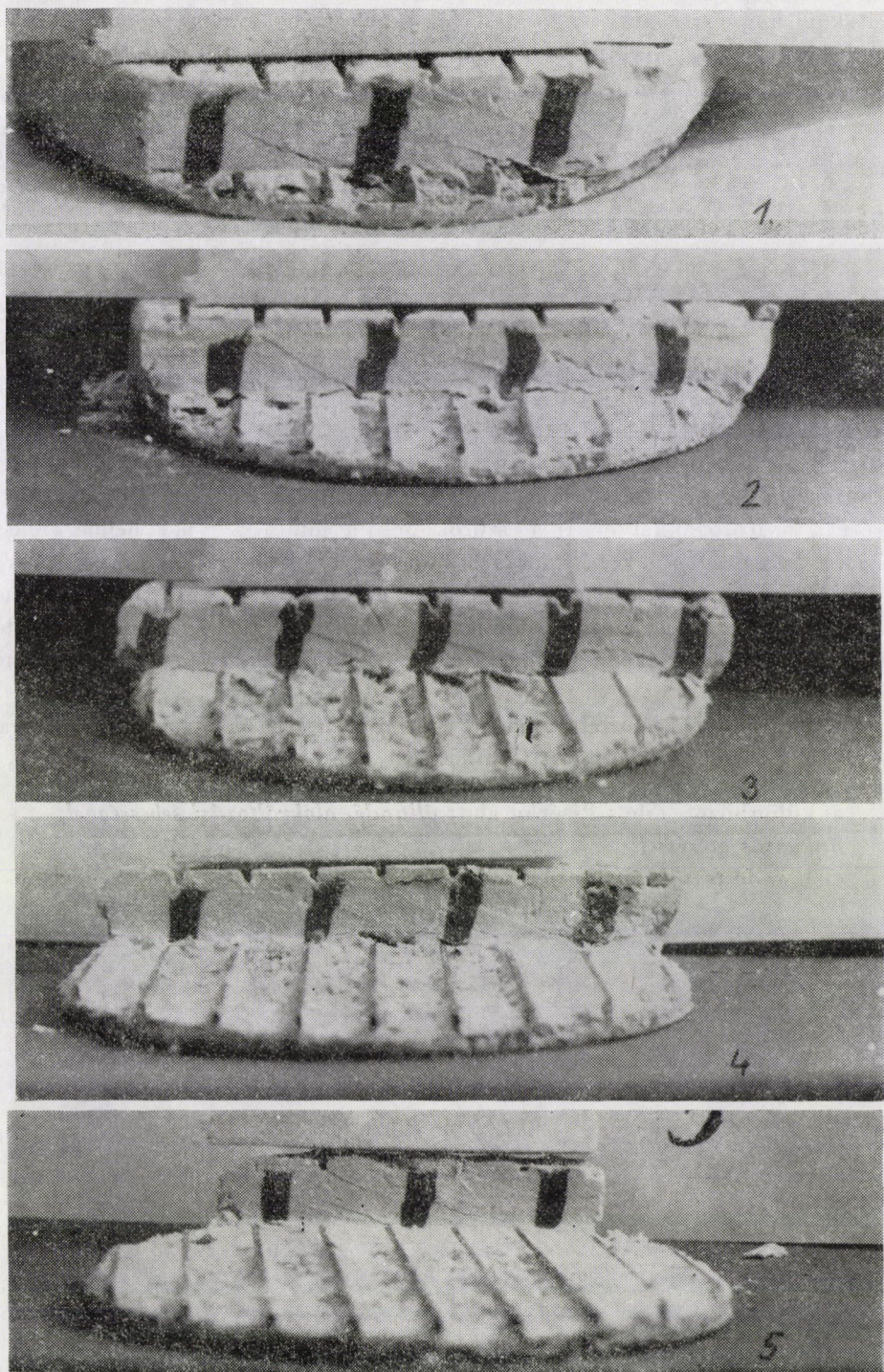
A VSG-2 nyírókészülékkel számos vizsgálatot végeztünk annak érdekében, hogy rámutassunk a nyíródobozos kísérletekkel szemben mutatkozó előnyére. Rámutattunk arra is, hogy a mintatesten belül kialakuló feszültség-eloszlás csaknem teljesen homogén, és ennek megfelelően a tönkremenetel után kialakuló belső szerkezet is egyértelmű.

A közvetlen nyírással (1. ábra) való összehasonlítás érdekében itt csak egyetlen fényképsorozatot (8. ábra) mutatunk be a fentiek szemléltetésére, a részletek a [40] és [41] tanulmányban megtalálhatók.

A nyíróvizsgálat mechanikájának tisztázása után kísérleteket végeztünk különböző alakváltozási sebesség és nyírófeszültségváltozási sebességi értékek mellett, a reológiai jellemzők meghatározása érdekében.

2. Az egyszerű nyírógéppel végzett reológiai vizsgálatok

Jelen tanulmányban az elvégzett kísérleteknek a reológiai kiértékelésével foglalkozunk részletesebben. A vizsgálatokat mádi bentonitos agyagból készített zavart mintákon végeztük. A kísérletekhez azért használtunk mesterséges



8. ábra

mintákat, hogy speciális és gondos előkészítéssel homogén, azonos állapot-jellemzőjű mintákat nyerjünk.

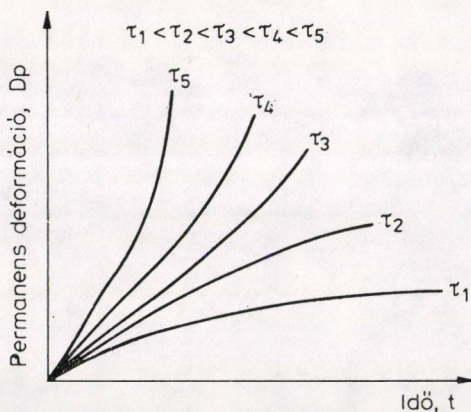
Célunk elsősorban nem ezen zavart minta reológiai jellemzőinek a meghatározása volt, hanem néhány reológiai vizsgálat bemutatása, és a kapott eredményeknek egymással való összevetése. Ehhez mindenképpen homogén mintára volt szükségünk. A vizsgálati módszer kialakítása után ezen vizsgálatok bármilyen természetes anyagra (kőzetre) elvégezhetők.

2.1. A minták előkészítése

A bentonitos agyag minták ($w_L = 86,2\%$; $I_p = 52,4\%$) előkészítése a következő volt: az anyagot kiszárítva porrá őröltük, majd fokozatos keverés közben újra nedvesítettük, és az így nyert masszát kétoldali vízellátóvizást biztosítva 100 at. nyomáson 7 napon át konszolidáltattuk. Az így előkészített mintából egy-egy kísérletsorozathoz elegendő mintát nyertünk. Utána következett a nyírófogakkal ellátott szűrőkőnek a mintába való belenyomása 2475 kN erővel 20 órán keresztül. Ezután a mintát a nyírógépbe helyeztük és a kísérlet mindenkorai normálterhelésénél 1 órán keresztül további konszolidációnak vetettük alá. Csak ezek után indítottuk el a kísérletet. Így, mint a későbbiekben látni fogjuk, kellően homogén, mérési eredményeikben összevethető mintákat nyertünk.

A mintákon három féle módon végeztünk kísérleteket — hangsúlyozva, hogy a lehetőségek száma ennél több [1, 4]:

- különböző — de a kísérlet alatt *állandó*- *alakváltozási sebességgel*,
- kúszás méréssel*,
- állandó feszültségváltozási sebességgel*.



9. ábra

2.2. Állandó alakváltozási sebességgel végzett kísérletek

A kísérletek célja az volt, hogy megnézzük az alakváltozási sebesség hatását a mért nyírószilárdsági értékekre, s ennek érdekében a 2.1. fejezet szerint előkészített mintákat a 3. táblázatban feltüntetett nyírási (eltolási) sebességek (v — mm/perc), ill. sebességgradienssek (D — s^{-1}) mellett nyírtuk el. A táblázatok egyben feltüntetik a beépített minták állapotjellemzőit is.

3. táblázat

Mádi bentonitos agyag beépítési állapot jellemzői, $\sigma_n = 0,29$ (MPa)

Sorozat	v [mm/perc]	D (s^{-1})	h [mm]	W %	ρ_n (g/cm^3)	e_0	jele
I.	1,0	$9,6 \cdot 10^{-4}$	17,78	29,2	1,974	0,8000	BLM 2
	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	15,24	29,6	2,126	0,6763	BLM 1
	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	18,00	29,8	1,897	0,8814	BLM 4
	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	16,90	29,5	1,886	0,8880	BLM 3
II.	1,0	$1,02 \cdot 10^{-3}$	16,68	27,4	2,023	0,7326	BLM 9
	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	15,98	27,9	2,001	0,7576	BLM 8
	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	16,33	27,6	2,013	0,7433	BLM 7
	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	12,55	27,3	2,015	0,7508	BLM 6
	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	12,90	27,5	1,977	0,7899	BLM 5

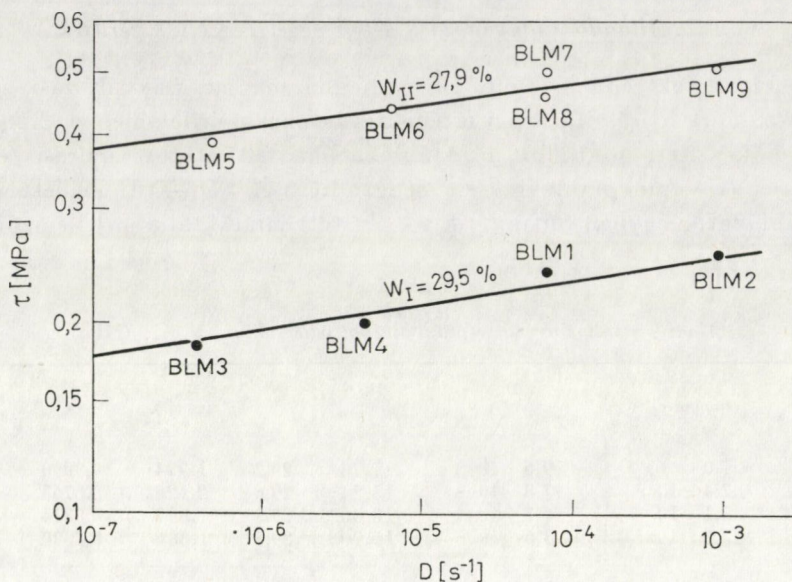
A táblázatok további betűjelzései:

σ_n	normálterhelés [MPa]
h	mintamagasság (mm)
W	beépítési víztartalom (%)
ρ_n	a beépített minta sűrűsége (g/cm^3)
e_0	hézagtényező a kísérlet kezdetén (—)

Mint látható, az I. és II. mérési sorozat mintáinak víztartalma egymástól mintegy 2%-kal tért el, s egy-egy sorozaton belül azonosnak tekinthető. A normálterhelés (σ_n) minden esetben (0,29 MPa) volt.

A különböző sebességgradienssek mellett kapott *nyírószilárdság* értékek alapján meghatározható a *folyásgörbe* (10. ábra).

A folyásgörbe tulajdonképpen az ún. maradó, vagy permanens deformáció (D_p) és a t igénybevételi idő közötti függvénykapcsolatot ábrázoló görbe (9. ábra), amely adott nyírófeszültség mellett a szóbanforgó rendszerre az adott körülmények között jellemző menetű [29]. Különböző τ értékek mellett végezve el a kísérletet, az ún. folyási diagrammot kapjuk. A folyások jellegét a nyírási sebesség és a nyírófeszültség közötti összefüggés megállapításával is szokás tanulmányozni, s ma már általánosan elfogadott ezen görbéket is folyásgörbéknek nevezni. A 10. ábrán ezen utóbbi értelmezés alapján ábrázoltuk a mádi bentonitos anyagnak a vizsgálat körülményeinek megfelelő folyásgörbét.



10. ábra

A folyásgörbének a 10. ábrán látható felvételi módja meglehetősen hosszadalmas, több homogén mintán végrehajtott kísérletet tesz szükségessé. Ezért terjednek el az utóbbi időben a *tehermentesítési görbe alapján felvett folyásgörbék*. Ezeket sikerrel alkalmazta FISCHER [12] is, s a kísérlet tartamát $1 \div 2$ hét helyett $2 \div 5$ órára csökkentette. Ezen módszer esetében a tehermentesítés után felveszik a nyírófeszültség-idő görbéket, s ezekből az adatokból a $\tau = f(D)$ folyásgörbe megszerkeszthető. A két módszer egyenértékűsége erősen megkérdőjelezhető, bár vannak mérések, amelyek a jogosságát alátámasztani látszanak. Visszatérve saját méréseinkre, látható, hogy a víztartalom jelentős hatást gyakorol, és a két görbét külön-külön kell kezelnünk.

A laza közetek folyási viszonyait az irodalomban nem egységesen ítélik meg, előfordulnak adatok konstans viszkozitás melletti egyszerű Bingham-viszonyokról éppúgy, mint általános Bingham-rendszerekről (TAN-TJONG-KIE [42]; DMITRUK-SUCHNICKA [9]; KRAUSE [23]).

Számos anyagi rendszeren az tapasztalható, hogy a nyírófeszültség és a sebességgradiens között a kapcsolat nem lineáris. OSTWALD nyomán az ilyen folyást mutató rendszert *szerkezeti viszkozitású* rendszernek nevezzük. Amennyiben a szerkezeti viszkozitás a plasztikus alakváltozással egyidejűleg jelentkezik, azt jelenti, hogy a szóbanforgó rendszer a folyást megelőzően folyáshatárral rendelkezik. Az ilyen rendszereket szokás *általános BINGHAM* vagy *pseudoplasztikus* rendszereknek nevezni. E rendszerek reológiai egyenletei ma még zömmel csak empirikus úton állapíthatók meg, kísérletileg is igazolt elméleti összefüggések nem igen állnak rendelkezésre. (MÓZES—VÁMOS [29].

Mivel az Ostwald-görbe inflexiós pont alatti része gyakorlatilag parabolikus lefutású, ezért ezt a szakaszt bilogaritmikus rendszerben ábrázolva egyenest kapunk és ezért kedveltek a különböző *hatványösszefüggések*.

RAO, FARROW, LOWE és NEALE sík lapok közötti lamináris folyásra a

$$\tau = kD^n$$

összefüggést találták.

Figyelembe véve NÁDAI [31] és FISCHER [12] módosításait, az általános Bingham-test viselkedését a következő egyenlet írja le:

$$\tau = k \left(\frac{D - D_0}{D^*} \right)^n + \tau_0,$$

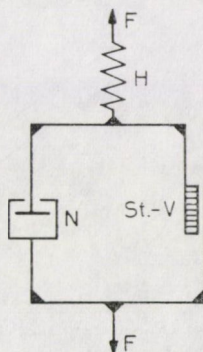
ahol

D_0	a τ_0 gyakorlati folyáshatárhoz tartozó sebességgradiens
D^*	1 s^{-1} (kísérleti állandó — NÁDAI [31])
k	ún. konzisztencia állandó.

Mit jelent a τ_0 gyakorlati folyáshatár? Mivel kísérleteinket „csak” $3 \div 4 \times 10^{-7} (\text{s}^{-1})$ sebességgradiensig tudjuk elvégezni, célszerűbbnek látszik a vizsgált sebességgradiens (D) tartomány alsó határánál (D_0) felvenni egy τ_0 értéket, majd kiegyenlítő számítással iterációval meghatározni a fenti egyenlet k és n paramétereit, mint $D = 0$ esetre extrapolálással kiszámítani. Számításainkban a $D_0 = 10^{-7}$ értéket használtuk fel. Ezzel a módszerrel a $D \geq 10^{-7} (\text{s}^{-1})$ tartományra — amely alsó határ a természeti jelenségek modellezésére tökéletesen megfelel — kiegyenlítő számítással meghatározható a k konzisztencia állandó és az n hatványkitevő.

Az általánosított Bingham-rendszer mechanikai modelljét a 11. ábrán láthatjuk, melyet a következő szimbólummal jelölhetünk:

$$B = (N/StV) - H.$$



11. ábra

Itt	B	az általánosított Bingham-rendszer szimbóluma
	N	a Newton-elem szimbóluma
	StV	a St.Venant elem szimbóluma
	H	a Hooke elem szimbóluma

Szavakkal kifejezve, az általánosított Bingham-rendszer a párhuzamosan kapcsolt Newton-St. Venant elemek sorbakapcsolása Hooke elemmel.

A $D_0 = 10^{-7} \text{ (s}^{-1}\text{)}$ sebességgradienshez megbecsülve τ_0 értékét, az eltérések négyzetösszegének minimuma alapján a két különböző víztartalmú mádi anyagra a következő eredményt kaptuk:

Ha $W_{atl} = 29,5\%$, akkor
 $\tau = 0,82 D^{0,268} + 0,16 \text{ [MPa]}$
 $r = 0,959$;

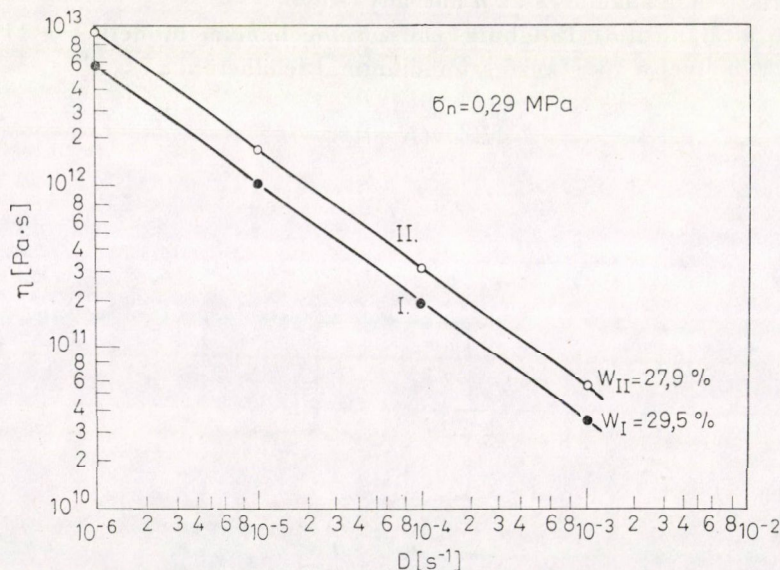
ha $W_{atl} = 27,9\%$, akkor
 $\tau = 1,34 \cdot D^{0,270} + 0,37 \text{ [MPa]}$
 $r = 0,906$,

ahol r a korrelációs együttható.

A szerkezeti viszkozitást az

$$\eta = \frac{d\tau}{dD} = nk \left(\frac{D - D_0}{D^*} \right)^{n-1}$$

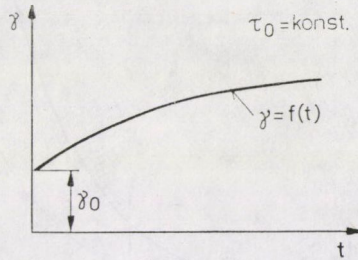
összefüggésből nyerhetjük. Értékeit a sebességgradiens függvényében a 12. ábra tünteti fel.



12. ábra

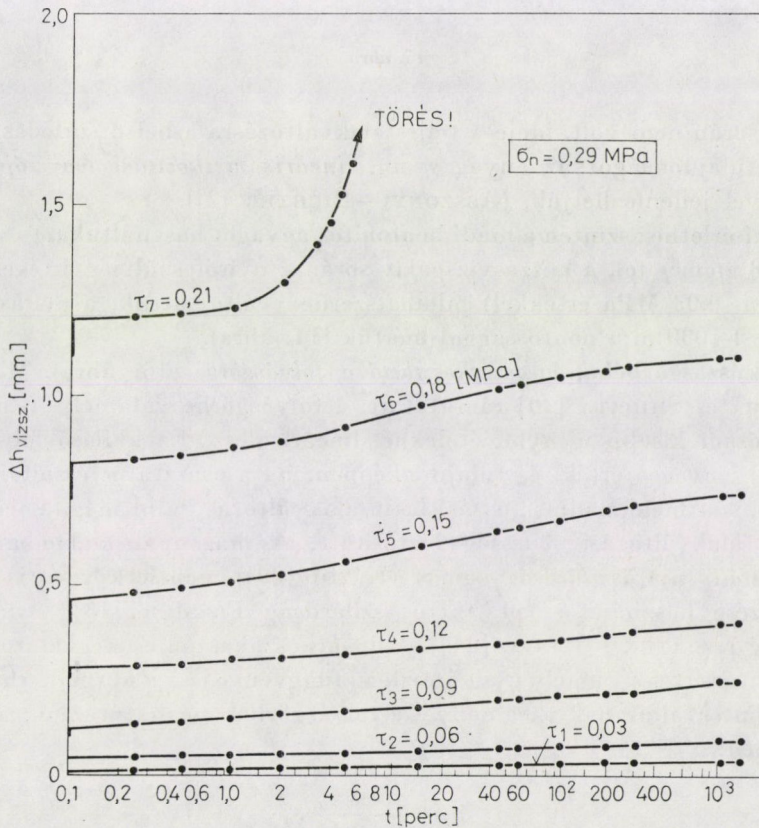
2.3. A folyásgörbe meghatározása kúszásvizsgálatból

A kőzetek laboratóriumi nyomó-nyírókísérletein általában tapasztalható, hogy olyankor, amidőn a terhelést valamely σ_0 vagy τ_0 értéken rögzítjük, az alakváltozások tovább folytatódnak. Ezt a jelenséget nevezzük *kúszásnak* (13. ábra).

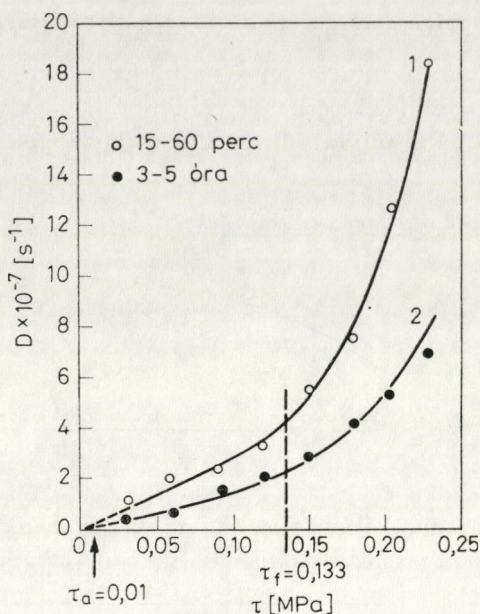


13. ábra

Amennyiben az alakváltozás az idő függvényében aszimptotához tart, a jelenséget az *alakváltozás késésének* is nevezhetjük (az anyagnak a feszültség-



14. ábra



15. ábra

változás során nem volt, ideje a teljes alakváltozásra a belső surlódás miatt), és ezt a tulajdonságot az anyag η ún. *lineáris viszkozitási tényezője* (Pa.s) segítségével jellemezhetjük. (ASSZONYI—RICHTER [2]).

A kísérlethez szintén a mádi bentonitos agyagot használtuk ($w = 29,8\%$, $\rho_n = 1,98 \text{ g/cm}^3$) fel, a kúszásvizsgálat során a nyírófeszültség értékeket lépcsőzetesen (0,03 MPa értékkel) pillanatszerűen változtattuk, a nyírási deformációkat 1/1000 mm pontossággal mértük (14. ábra).

A kúszásgörbéből *megszerkeszthető a folyásgörbe* (15. ábra). Mint arra MURAYAMA és SHIBATA [30] rámutatott, a folyásgörbe valamely τ_f ún. *felső folyáshatárnál* kisebb igénybevételeknél lineáris lesz. Ez a felső folyáshatár rendkívül lényeges érték, és tulajdonképpen, ha a csúsztató feszültség ezt a küszöbértéket meghaladja, kúszás, lassú alakváltozás indul meg, amennyiben a konst. alakváltozási sebesség biztosított. A magyar irodalomban, mint *fundamentális nyírószilárdság* ismert (KÉZDI [20]), nemzetközileg is számos megnevezése használatos (pl. tartós szilárdság FISCHER [13], strukturális szilárdság KWIATEK—GLINKO [24]). A lineáris szakaszon is meghatározhatjuk a viszkozitás értékét (amely nyilvánvalóan függvénye lesz a normálterhelésnek, és az időintervallumnak is, amellyel a folyásgörbét meghatároztuk) a következőképpen:

$$\eta = \frac{\tau_f - \tau_a}{D}.$$

Esetünkben:

$$\eta_1 = \frac{1,23 \text{ MPa}}{4 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}} = 3,01 \cdot 10^{14} [\text{Pa.s}],$$

$$\eta_2 = \frac{1,23 \text{ MPa}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}} = 6,02 \cdot 10^{14} [\text{Pa.s}].$$

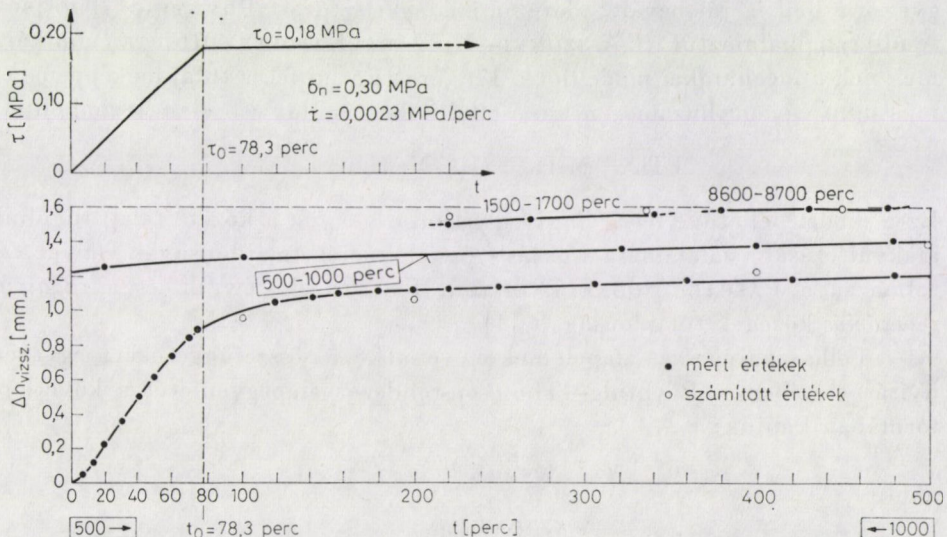
A görbék adnak még egy *alsó folyáshatár értéket* is (τ_a), egy olyan pontot, amelyből mindegyik görbe tulajdonképpen kiindul. MURAYAMA—SHIBATA szerint τ_a -nál kisebb igénybevétel esetében a szemcsevázban csak rugalmas alakváltozások lépnek fel. Amennyiben $\tau > \tau_f$ a fenti viszkozitásértékek csökkennek, s ugyanabba a tartományba jutunk, amelyet a 2.2. pontban is tárgyaltunk. Természetesen egyetlen reológiai modellel is leírható a teljes tartomány, mint azt MURAYAMA és SHIBATA is tették.

2.4. Állandó feszültségváltozási sebességgel végzett kísérlet

Mint ismeretes, állandó feszültségváltozási sebességgel terhelve a mintát egy τ_A arányossági értékig, kétféleképpen járhatunk el [1, 3, 4]:

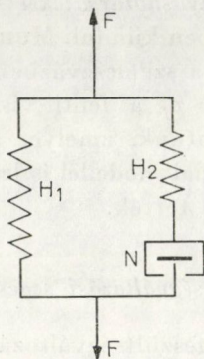
- rögzítjük a terhelést, s regisztráljuk az anyag kúszását, (*kúszási próba*),
- τ_A -hoz tartozó γ_A szögtorzulás értéken történő rögzítés után regisztráljuk a feszültségek relaxációját (*relaxációs próba*).

Kísérletünknel az *a*) pont szerint jártunk el, az anyag a 2. pont vizsgálatához egyidőben készített mádi bentonitos agyag volt.



16. ábra

A kísérletet $\sigma_n = 0,30$ MPa normálterhelés és $0,0023$ MPa/perc nyíró-feszültség-változási sebesség mellett végeztük. A mérési eredmények a 16. ábrán láthatók. A mérések kiértékelését célszerű valamilyen reológiai modellel végezni, és itt számos lehetőség mutatkozik, kezdve a legegyszerűbb $2 \div 3$ paraméteres modellektől (LANGER [26]; KISIEL [22] KWIATEK—GLINKO [24]) a 6 paraméteres modelleken (DRESCHER [10]) keresztül egészen FEDDER



17. ábra

[11] 19 paraméteres modelljéig. Azonban a paraméterek számának a növekedése egyre nehezebbé teszi a számítást, s nem biztos, hogy a kapott eredmény arányban fog állni a befektetett munkával.

A fentiek alapján a kísérlet kiértékeléséhez a hazai közetmechanikai gyakorlatban is jól bevált, matematikailag tisztázott POYNTING—THOMSON-rendszert alkalmaztuk, (I. ASSZONYI—HUSZÁR—KAPOLYI—RICHTER munkáit), melynek a mechanikai modelljét a 17. ábra tünteti fel, s tulajdonképpen nem más mint egy párhuzamosan kapcsolt Hooke- és Maxwell elem. Szimbóluma:

$$P_{Th} = M/H = (H - N) H.$$

Ez a modell lehetővé teszi, hogy figyelembe vegyünk a közet (talaj) rugalmas alakváltozását, valamint a kúszási- és relaxációs tulajdonságait, mivel tartalmazza a PASCAL, HOOKE, NEWTON, KELVIN, MAXWELL és a rugalmas relaxációs közegek tulajdonságait [4].

Felhasználva az alapelemekre vonatkozó összefüggéseket, egyszerű nyírás esetében a Poynting—Thomson-rendszer alapegyenletét a következő formában kapjuk:

$$\tau = \mu\gamma + \eta\dot{\gamma} - \vartheta\dot{\tau}$$

ahol:

μ	a nyírómodulus,
η	a lineáris viszkozitási tényező,
ϑ	a lineáris relaxációs tényező.

A fenti egyenlet megoldása a $t > t_0$ szakaszra:

$$\gamma = \frac{\dot{\tau}_0}{\mu} t_0 - \left(\frac{\dot{\tau}_0 t_0}{\mu} - \gamma_0 \right) e^{-\frac{\mu}{\eta}(t-t_0)}$$

$$\gamma = \frac{\tau_0}{\mu} \left[t_0 - \left(\frac{\eta}{\mu} - \vartheta \right) \left(1 - e^{-\frac{\mu}{\eta} t_0} \right) e^{-\frac{\mu}{\eta}(t-t_0)} \right]$$

ahol

$$\begin{array}{ll} \dot{\tau}_0 & \text{a konstans nyírófeszültségváltozási sebesség} \\ t_0 & \text{az arányos terhelési szakasz elérésének az ideje} \end{array}$$

Az exakt megoldás matematikailag a következő [1]:

Mérjük a:

$$\begin{array}{l} \gamma_i; t_i \quad i = 0; 1; \dots \quad A - 1 \\ \gamma_A = \gamma_0; t_A = t_0 \\ \gamma_j; t_j \quad j = A + 1; \dots n \end{array}$$

összetartozó értékpárokat. Az eltérések négyzetösszegét reprezentáló függvényt Δ -val jelölve szélsőértékszámítással a közetállandók a

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \mu} = 0; \quad \frac{\partial \Delta}{\partial \eta} = 0; \quad \frac{\partial \Delta}{\partial \vartheta} = 0$$

egyenletekből iterációs úton számítógéppel meghatározhatók (NAGY [32]).

A fenti összefüggések alapján a mádi bentonitos agyagra a következő reológiai jellemzők adódtak:

$$\begin{array}{l} \mu = 2,04 \text{ [MPa]} \\ \eta = 6,38 \cdot 10^{12} \text{ [Pa.s]} \\ \vartheta = 22060 \text{ sec} = 6,13 \text{ [óra]} \end{array}$$

3. Összefoglalás

A feszültségoptikai kísérletek és a nyírás közbeni, mintatesten belüli elmozdulásmérések igazolták, hogy az ismertett, az egyszerű nyírás elvét megvalósító nyírókészülékben a feszültségeloszlás és a deformációs mező — tekintve a határoló gyűrűk minimális zavaró határától — szinte teljesen homogén, szemben a direkt nyíródobozok heterogén viszonyaival (lásd az 1. és

8. ábrákat, valamint [38–41]-ben). Mint láttuk, az „egyszerű” nyírókészülékekben a tönkremenetel nem kényszerfelület mentén történik.

A tanulmányban bemutatott módosított VSG-2 nyírókészülékkel a reológiai méréseknél alkalmazott mind a négyféle vizsgálat (az arányos terhelési-, az arányos alakváltozási-, a kúszási-, a relaxációs próba) elvégezhető. Ezek a vizsgálatok lehetővé teszik, hogy a terhelés hatására bekövetkező *alakváltozásoknak az időbeli lefolyást meghatározzuk*, ill. — amennyiben a választott reológiai modell elemei ténylegesen az anyag domináns tulajdonságait reprezentálják — előre becsüljük. Természetesen a bemutatott egyszerű modelleken túl, egyéb, több elemet tartalmazó modell is használható, azonban az elemek számának a növekedésével a modellparaméterek meghatározása mind nehezebbé válik, s nem biztos, hogy a befektetett munka arányban fog állni a kapott eredménnyel. Nem szabad azt elfelejtenünk, hogy a kísérletek eredményeinek megbízhatóságát sok egyéb tényező (a mintavétel megbízhatósága, a minta reprezentativitása, a kísérleti és valós viszonyok nem azonos volta, a méretproblémák stb.) is befolyásolja.

IRODALOM

1. ASSZONYI, Cs.—HUSZÁR, I.—KAPOLYI, L.: Kőzetállandók laboratóriumi meghatározása kúszásvizsgálattal *Tatabányai Szénbányák Műszaki Közgazdasági Közleményei* (1971) 177—183
2. ASSZONYI, Cs.—RICHTER, R. (1975): Bevezetés a kőzetmechanika reológiai elméletébe. Nehézipari Minisztérium Továbbképző Központja, Budapest 1974, 1—284.
3. ASSZONYI, Cs.: Kőzetkontinuumok reológiai elméletéről. Doktori értekezés. Tatabánya 1975, p. 62
4. ASSZONYI, Cs.—KAPOLYI, L.: Kőzetek mechanikai jellemzőinek meghatározása. *MTA Veszprémi Akadémiai Bizottság Monográfiái I.* (1976), 192
5. BICZÓK, E.: Új kísérleti eszközök és módszerek a talajmechanikai kutatásban. *Mélyéptéstudományi Szemle* (1974) 219—224
6. BILZ, P.: Langfristige Bewegungen in einem Böschungssystem aus geschütteten bindigen Mischböden infolge Grundwasseranstiegs. *Neue Bergbautechnik* 3. (1973), März
7. BISHOP, A. W.—GREEN, G. E.—GARGA, V. K.—ANDERSEN, A.—BROWN, S. P.: A new ring shear apparatus and its application to the measurement of residual strength. *Geotechnique* 21. (1974), 273—328
8. BJERRUM, L.—LANDVA, A.: Direct simple shear tests on a norwegian quick clay. *Geotechnique* 16. (1965), 1—20
9. DMITRUK, S.—SUCHNICKA, H.: Koncepcja reologicznego modelu wytrzymałościowego gruntu *Archiwum Hydrotechniki* 16. (1969), 521—540
10. DRESCHER, S.: Rheologische Vorgänge beim dreiaxialen Druckversuch. TU. Clausthal. Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen. Doktori disszertáció (1971)
11. FEDDER, D.: Rheological equation of a silt, determined with the aid of a newly developed test apparatus. *Engineering Geology*, 6. (1972)
12. FISCHER, P.: Beitrag zur Anwendung rheologischer Untersuchungsmethoden in der Bodenmechanik. *Freiberger Forschungshefte A.* 492 (1970)
13. FISCHER, P.: Zur Anwendung rheologischer Untersuchungsmethoden in der Bodenmechanik. *Bergbautechnik*, 20. (1970), Mai
14. FISCHER, P.: Visko-Schergerät VSG2. Gerätebeschreibung und Bedienungsanleitung, (1972) (Kézirat)
15. HAEFELI, R.: Kriechen und progressiver Bruch in Schnee, Boden, Fels und Eis. *Schweizerische Bauzeitung* 85. (1967), H. 1.
16. HVORSLEV, M. I.: Physical components of the shear strength of saturated clays. *Proc. of the Research Conf. in shear strength of cohesive soils.* Boulder, Colorado, 169—293

17. KAWAKAMI, F.—OGAWA, S.: Yield stress and modulus of elasticity of soil. *Rheologie and Soil Mechanics*. Symposium Grenoble (1964), 354—363
18. KERISEL, J.: Old structures in relation soil conditions. *Geotechnique* 25. (1975), 433—483
19. KÉZDI, Á.: Talajmechanikai praktikum. Tankönyvkiadó, Budapest 1961, p. 208
20. KÉZDI, Á.: Talajmechanika I—II. Tankönyvkiadó, Budapest (1969), 1014
21. KÉZDI, Á.—VARGA, L.—TIMÁR, A.: Strength of transition soils. *Proc. 4th Conf. on Soil Mech.* Budapest (1971), 187—196
22. KISIEL, I.: Działanie obciążenia na gruncie o modelu M/V granice reologiczne (A terhelés hatása az M/V talajmodellre. Reológiai határok.) *Archiwum Hydrotechniki*. 14 (1967), 609—619
23. KRAUSE, I.: Das rheologische Verhalten von Schluff beim Kompressionsversuch. *Mitt. aus dem Institut für Verkehrswasserbau Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Hochschule, Aachen* (1966)
24. KWIATEK, J.—GLINKO, H.: O własnościach reologicznych gruntów. K. D. 532.136: 624. 131. 3, Katowice
25. LAJTAI, E. Z.: Shear strength of weakness planes in rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 6. (1969), 499—515
26. LANGER, M.: Rheologie der Gesteine. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Jahrg. 1967 B. 119, 313—425
27. LOMIZE, T. M.—GUTKIN, A. M.—ZSUKOV, N. V.: Iszledovanyije reologicseszkijh szvojsztv plaszticsnüh glin. Osznovanyije, fundamentü i mechanika gruntov, No. 2. (1963)
28. MESZCSJAN, Sz. R.: Kolcevoj pribor dla izucsenyija polzucsesztji i dlityelnovo szoprotivlenyija szdvigu glinyisztüh gruntov metodom krucsenyija. *Izv. A. N. Arm. Sz. Sz. R.* 15. (1962)b.
29. MÓZES, Gy.—VÁMOS, E.: Reológia és reometria. Műszaki Könyvkiadó Budapest 1968, p. 340
30. MURAYAMA, S.—SHIBATA, T.: Flow and stress relaxation of clays. *Rheology and Soil Mechanics*. Symposium Grenoble 1964. p. 99—129. Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York 1966
31. REINER, M.: Rheologie in elementarer Darstellung. VEB. Fachbuchverlag, Leipzig (1968), 360
32. NAGY, S.: Talajok reológiai vizsgálata és az anyagállandók meghatározása. TDK dolgozat. Kézirat. Gödöllő (1973)
33. ROSCOE, K. H.—THURAIRAJAH, A.: On the Uniqueness of yield surface for wet clays. *Rheology and Soil Mechanics*. Symposium Grenoble 1964. p. 364—381. Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York 1966, pp. 364—381
34. ROSCOE, K. H.: Behandlung Bordenmechanischer Probleme auf der Grundlage neuerer Forschungsergebnisse. 1. rész: *Berg. Wiss.* 14 (1967), 464—472 2. rész: *Berg. Wiss.* 15 (1968), 8—14
35. ROSCOE, K. H.—BURLAND, I. B.: On the generalized stress-strain behaviour of „wet” clay. *Engineering Plasticity*. Cambridge University Press 1968
36. SCHEFFLER, H.: Der Einfluß der zeitlichen Eintragung der Schubspannung auf die axialen Formänderungen zylindrischer Prüfkörper eines definierten Schluffes im einaxialen Kriechversuch. *Bergbautechnik* 20. (1970), H. 5
37. SUKLJE, L.: Viscous and non-linear soil behaviour. *Rheological Problems in Soil Mechanics*, Udine 1974. Jul. 1—9. (Konferenciára beküldött kézirat)
38. SZABÓ, I.—KERESZTURI, F.: Comparison of direct and simple shear apparatus with photoelastic method. 7 th. *Congress on Material Testing*, Budapest Section: Experimental Stress Analysis, Vol. 2 (1978)
39. SZABÓ, I.: Lamináris alakváltozást megvalósítható készülékek alkalmazási lehetőségei a talajmechanikai gyakorlatban, különös tekintettel az egyszerű nyírásra. Doktori disszertáció, NME Miskolc (Kézirat), 1979
40. SZABÓ, I.—KERESZTURI, F.: A mintatesten belüli feszültségeloszlás meghatározása közvetlen nyíróvizsgálat esetén. *Mélyépítéstudományi Szemle* XXIX. évf. 29 (1979), 521—527
41. SZABÓ, I.: A közvetlen és az egyszerű nyírás által kialakított belső szerkezet értelmezése talajoknál. *Mélyépítéstudományi Szemle*. 30 (1980), 25—33
42. TAN-TJONG-KIE (1964): Determination of the rheological parameters and the hardening coefficients of clays. *Rheology and Soil Mechanics*. Symposium Grenoble 1964. Springer Verlag, Berlin | Heidelberg | New York 1966, pp. 256—272
43. DUNCAN, J. M.—BOLTON SEED, H. (1966): Anisotropy and stress reorientation in clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. ASCE*. No. SM. 5. Sept. (1966) 21—49

The Principle of Simple Shear and its Testing Technique. Rheological Research Investigation by Using Simple Shear Mechanism. — For the simulation of extraordinarily slow movement in laboratory conditions which occur in nature (flow, creeping), the traditional methods of the soil mechanics are no more satisfying. New research investigation methods are needed to be built up on the laws of the rheology. A shearing mechanism realizing the principle of simple shear having been made suitable for rheological research investigation is described. The investigations may be performed both with constant rate of deformation and at constant rate of change in stresses with an instrument which permits to carry out all of the research investigations in rheology of major significance (proportionate loading test, proportionate deformation test, tests of creeping and relaxation). An actual example is presented in order to demonstrate the experiments conducted at constant rate of deformation by measuring creep and at constant rate of change in stress and their appreciation with the aid of different rheological models.

Das Prinzip und die Versuchstechnik des einfachen Schubs. Rheologische Untersuchungen mit Hilfe eines einfachen Schubinstruments. — In der Natur vorkommende, sehr langsame Bewegungen (Fließen, Kriechen) können schon im Labor mit Hilfe von herkömmlichen Methoden nicht mehr befriedigend modelliert werden. Es sind derartige neue Forschungs- und Untersuchungsmethoden erforderlich, die auf die Gesetzmäßigkeiten der Rheologie aufgebaut sind. Die Abhandlung beschreibt das Prinzip des einfachen Schubs herstellendes Instrument, welches zur Ausführung der rheologischen Untersuchungen geeignet ist. Mit Hilfe des beschriebenen Instruments können die Untersuchungen bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit oder bei konstanter Spannungsänderungsgeschwindigkeit vorgenommen werden wobei die wichtigsten rheologischen Versuche (d. h., die proportionellen Belastungs-, proportionellen Verformungs-, Kriechen- und Relaxationsversuche) durchgeführt werden können. Ein Beispiel wird für die bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit, mit der Messung des Kriechens und bei konstanter Spannungsänderungsgeschwindigkeit vorgenommenen Versuche und für die Auswertung derselben, mit Hilfe von verschiedenen rheologischen Modellen vorgeführt.

A TÁROZÓSZÁMÍTÁS TÖMEGGÖRBE-MÓDSZEREI ÉS EZEK ÖSSZEHAONLÍTÁSA A RENDSZERTECHNIKAI MÓDSZEREKKEL

DOMOKOS MIKLÓS¹

[Beérkezett: 1980. augusztus 22-én]

Napjainkban a gyakorlati hidrológiai-vízkezelésgazdálkodási feladatmegoldások egyik fontos csoportját továbbra is a tározókkal kapcsolatos számítások alkotják. Ezek részben a tározók szükséges térfogatának, részben célszerű működtetési rendjének a meghatározására irányulnak, gyakran pedig e két feladatrészt együttesen oldják meg. Egy tározó működhet egyedi (független) tározóként vagy valamely együtműködő tározórendszer elemeként. Fő célját tekintve vízhasznosítási, árvízszabályozó vagy többcélú tározó lehet.

1. Bevezetés

1.1 *A tanulmány célja*

E tanulmány vízhasznosítási célú egyedi tározók méretezési, továbbá többcélú egyedi vagy együtműködő tározók működtetési kérdéseivel foglalkozik. Általánosságban meghatározza a gyakorlatban ezekkel kapcsolatban előforduló feladatokat, felsorolja a megoldásukra kidolgozott módszercsoportokat, majd az utóbbiak közül röviden ismerteti és számpéldákkal szemlélteti a tömeggörbe-módszereket és utal a rendszertechnikai módszerekre. Végül az utóbbi két módszercsoportot több szempontból összehasonlító [23] tanulmány fontosabb megállapításainak ismertetése alapján ajánlást ad a gyakorlati feladatok megoldásához célszerűen alkalmazható módszerek megválasztására.

1.2 *A tanulmányban használt jelölések*

t, τ	— idő
Δt	— a tározószámítás alapjául választott alapidőegység, amelyen belül minden időfüggvény-szakaszt átlagértéke helyettesít, továbbá annak tartama (a 3.3. szakasz számpéldáiban $\Delta t = 2,63 \cdot 10^6$ s, az „átlagos hónap” tartama)
T	— a tározószámítás alapjául választott (jövőbeli) tervezési időszak, továbbá annak tartama $\left(T = \bigcup_{i=1}^n \Delta t_i \right)$ és végpontja ($t = T$)
ΔT	— a T időszaknak a Varlet-féle „kifeszített szál” két szomszédos sarokpontja által meghatározott részidőszaka

¹ Domokos Miklós, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ (VITUKI) Vízrajzi Intézete, 1095 Budapest, Kvassay Jenő út 1.

$x(t)$, $X(t)$ — a hozzáfolyás (vagyis a tározót tápláló vízhozam) időfüggvénye és annak tömeggörbéje:²

$$X(t) = \int_0^t x(\tau) d\tau \quad (1)$$

$q(t)$, $Q(t)$ — a tározóból kielégítendő vízigény időfüggvénye és annak (1) típusú tömeggörbéje
 $y(t)$, $Y(t)$ — a tározóból való — részben a $q(t)$ vízigény kielégítését szolgáló — vízeresztés időfüggvénye és annak (1) típusú tömeggörbéje
 x_i , q_i , y_i — az $x(t)$, a $q(t)$ ill. az $y(t)$ időfüggvény Δt_i -beli átlagértéke
 \bar{x} , \bar{q} , \bar{y} — az $x(t)$, a $q(t)$ ill. az $y(t)$ időfüggvény T -beli átlagértéke
 $\bar{x}_{\Delta t}$ — az $x(t)$ időfüggvény ΔT -beli átlagértéke
 Δq_i — a vízigény-kielégítés elégtelensége a Δt_i időszakban:

$$\Delta q_i = \min(0, y_i - q_i) \leq 0$$

$Z(t)$ — a hozzáfolyás maradék-tömeggörbéje:²

$$Z(t) = \int_0^t (x(\tau) - y(\tau)) d\tau = X(t) - Y(t) \quad (2a)$$

$Z_0(t)$ — a hozzáfolyás maradék-tömeggörbéje az $y(t) = \bar{x}$ esetben (vagyis teljes vízhozamkiegyenlítés esetében):

$$Z_0(t) = \int_0^t (x(\tau) - \bar{x}) d\tau = X(t) - \bar{x} \cdot t \quad (2b)$$

$Z^*(t)$ — a hozzáfolyás maradék-tömeggörbéje az $y(t) = q(t)$ esetben (más elnevezéssel: a tározó hipotetikus feltöltődési görbéje):

$$Z^*(t) = \int_0^t (x(\tau) - q(\tau)) d\tau = X(t) - Q(t) \quad (2c)$$

$W(t)$ — a vízeresztés (2b) típusú maradék-tömeggörbéje:

$$W(t) = \int_0^t (y(\tau) - \bar{x}) d\tau = Y(t) - \bar{x} \cdot t \quad (3)$$

$\text{Var}[y(t)]$ — a vízeresztés ingadozását jellemző mutató:

$$\text{Var}[y(t)] = \int_0^T (y(t) - \bar{y})^2 dt \quad (4)$$

R — a vízigény-kielégítés tényleges ill. várható biztonságát jellemző mutató, amelynek különböző lehetséges változatai [8], [12], [53] közül e tanulmányban a

² Az (1) képlettel definiált $X(t)$ függvényt a magyar szakirodalom — a német „Summenlinie” [12] mintájára — többnyire vízhozamösszegző görbének [34], [52] vagy vízhozam-integrálgörbének [32], a (2b) képlettel definiált $Z_0(t)$ függvényt pedig — a német „Summendifferenzlinie” mintájára — különbségösszegző görbének [52] nevezi. Ebben a tanulmányban eltérünk ettől a gyakorlattól és — elsősorban a rövidség kedvéért, az angol „mass-curve” és „residual mass-curve” mintájára — az $X(t)$, $Q(t)$ és $Y(t)$ függvényt tömeggörbének, a $Z_0(t)$, a $Z(t)$ és a $W(t)$ függvényt pedig maradék-tömeggörbének nevezzük. A $Z(t)$ maradék-tömeggörbe neve a (9) ill. (10) képlettel definiált vízeresztés esetében: tározó-igénybevételi görbe (vö. az 5, lábjegyzettel).

gazdasági szempontból általában leghatékonyabbnak tartott mutatót: a ténylegesen kiszolgáltatót és az igényelt összes vízmennyiség hányadosát értjük:

$$R = \frac{\int_0^T q'(t) dt}{\int_0^T q(t) dt}, \quad q'(t) = \begin{cases} q(t), & \text{ha } y(t) \geq q(t) \\ y(t), & \text{ha } y(t) < q(t) \end{cases} \quad (5)$$

- R^* — az R mutató megkövetelt (előírt) alsó határértéke
 K — a tározó hasznos térfogata (kapacitása)
 S — a tározótelttség, vagyis a tározóban pillanatnyilag levő víztömeg
 L — a vízszolgáltatás elégtelensége okozta (vagyis a vízszolgáltatástól függő) gazdasági veszteség

2. A tározószámítás feladatai és módszerei

2.1 A tározószámítási feladatok általános megfogalmazása

2.1.1 *A tározóegyenlet vizsgált változatai.* A gyakorlatban a vízhasznosítási és többcélú tározókkal kapcsolatos — közgazdasági szempontból egyszerűbb típusú³ — feladatok többsége lényegében az ún. tározóegyenlet alábbi három változata valamelyikének a T tervezési időszakra való megoldását kívánja [32], [53]:

$$K = f_K(x(t), q(t), R^*) \quad (6a)$$

$$R = f_R(x(t), q(t), K) \quad (6b)$$

és

$$y_{\text{opt}}(t) = f_y(x(t), K); \quad \text{Var}[y(t)] = \min \quad (6c)$$

A (6a) és (6b) feladat vízhasznosítási tározók méretezésére, a (6c) feladat pedig többcélú tározók üzemrend-meghatározására irányul. A (6b) egyenletet általában az $R \geq R^*$ feladat megoldására, iteratív ismétlésekkel alkalmazzák.

A (6a) és (6b) feladat nyilvánvalóan az előre meghatározott $q(t)$ időfüggvénnyel adott vízigény minél teljesebb kielégítését, más szóval: az $y(t)$ függvény (s vele az R vízigény-kielégítési biztonság) maximálását célozza. A (6c) feladat célkitűzése viszont az $y(t)$ vízeresztés minél teljesebb kiegyenlítése, amelyet gyakran a lefolyásszabályozás legfőbb célkitűzésének tekintenek [25], minthogy többcélú tározás, valamint konvex $L(y)$ veszteségfüggvény esetén bizonyíthatóan [23] gazdasági optimumot eredményez.

A tározóegyenlet tanulmányunkban vizsgálandó fenti három változatának bal oldalán értelemszerűen keresett, ill. meghatározandó mennyiségek (a szükséges tározókapacitás, az elérhető biztonság, a vízeresztés optimális

³ A közgazdasági szempontból való egyszerűsítés fő összetevői: (a) merev R^* vízszolgáltatási biztonság előírása a (6a) és a (6b) feladatban; (b) az $L(y)$ gazdasági veszteség-függvény konvex voltának feltételezése a (6c) feladatban; (c) a jövőbeli gazdasági hatások diszkontálásának mellőzése mindhárom feladatban (l. még a 2.13 és az 5.1 szakaszban).

rendje), jobb oldalán — független változókként — pedig előre megadott (előírt) mennyiségek szerepelnek.

2.12. *A tározóegyenletek bemenő adatai.* A tározóegyenlet mindhárom változatát valamely jövőbeli T tervezési időszakra (időhorizontra) vonatkozóan kell megoldani. A megoldás feltétele tehát az egyes egyenletek jobb oldalán szereplő független változók T -beli — vagyis jövőbeli — értékeinek, ill. időfüggvényeinek ismerete.

Ezek közül a (6b) és a (6c) egyenlet jobb oldalán szereplő K érték — topográfiai és gazdasági adottságok figyelembevételével — általában viszonylag egyszerűen felvehető, ill. iterációval is közelíthető. Az R^* biztonság előírása közgazdasági megfontolásokon alapulhat, de a gyakorlatban többnyire önkényes [5], [8], [51]. A tározóból kielégítendő vízigény $q(t)$ időfüggvénye jövőbeli (T -beli) szakaszának meghatározása — az ezzel kapcsolatos sokirányú erőfeszítések [6] ellenére — általában nagyon bizonytalan. Végül az $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvény T -beli szakasza egyáltalán nem (még bizonytalanul sem) jelezhető előre. Ezért a gyakorlatban ezt az időfüggvény-szakaszt egy olyan függvénysszakasszal helyettesítik, amelyről feltehető, hogy a jövőbeli tényleges $x(t)$ szakaszt a tározó méretezése, ill. működtetése szempontjából egyenértékűen helyettesíti. A helyettesítő $x(t)$ szakaszt a gyakorlatban kétféle módon választhatják:

(a) felteszik, hogy $x(t)$ -nek egy múltbeli T hosszúságú időszakban észlelt szakasza változatlanul megismétlődik a jövőbeli T tervidőszakban; vagy

(b) az $x(t)$ függvény jövőbeli (T -beli) szakaszát — a múltban észlelt x értékek és egyéb hidrológiai információk felhasználásával — mesterségesen állítják elő [12], [14], [20], [21].

Hangsúlyozzuk, hogy mindkét helyettesítő $x(t)$ szakasz T -beli bekövetkezésének valószínűsége zérus. A (b) megoldást elsősorban akkor célszerű választani, ha az $x(t)$ -re vonatkozó észlelések tartalma túl rövid.

E tanulmányban a fenti megjegyzéseken túl nem foglalkozunk részletesebben a tározóegyenlet három változatának jobb oldalán független változókként szereplő mennyiségek meghatározásának, ill. felvételének módjával és megbízhatóságával, hanem a továbbiakban ismert adottságokként kezeljük őket.

2.13. *A tározószámítási feladat közgazdasági vonatkozásai.* A tározóegyenlet (6a) és (6b) változatával kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy alakilag a tározóméretezési feladat közgazdasági kölcsönhatásoktól elvonatkoztató, a közgazdasági elvárásokat egyetlen merev R^* érték előírásával érvényesítő megközelítést jelentik. Elvileg a közgazdasági kölcsönhatások dinamikáját ennél jóval árnyaltabban érvényesítő, valamely vízkészletgazdálkodási rendszer paramétereit — s benne nemcsak a tározók, hanem a vízigények paramétereit is — egyszerre optimáló modellek is elképzelhetők [5], [7], [10]. A közgazdasági tényezőkre (költség- és veszteségfüggvényekre stb.) vonatkozó

ismereteink rendkívül szegényes volta azonban jelenleg még nem teszi lehetővé az ilyen modellek hatékony és megbízható alkalmazását [9]. Másrészt megfelelő közgazdasági függvények — pl. a tározó építési és üzemelési költségeinek K -tól való függése, valamint a népgazdasági eredmény R -tól, ill. $y(t)$ -tól való függése — ismeretében a tározóegyenlet iterációsan alkalmazott (6b) változata is alkalmas lehet a gazdaságilag optimális (K, R) értékpár meghatározására.

A közgazdaságilag megalapozottabb tározószámítás fontos tényezője lehet még a jövőbeli gazdasági hatások $t = 0$ -ra való redukálásához szükséges diszkontláb ismerete is. E tanulmányban — a gyakorlatban is kényszerűségből elterjedten alkalmazott durva közelítéssel — feltesszük, hogy ennek értéke zérus. Zérustól különböző diszkontláb érvényesítésére a [10] mű 5.5 fejezete ismertet módszert.

2.2 A tározószámítás módszerei

A napjainkig kidolgozott tározószámítási módszerek a következő öt csoportba sorolhatók:

(1) a hozzáfolyás- és a vízigény-időfüggvényt (vagy ezek tömeggörbéit) közvetlenül hasznosító determinisztikus szimulációs módszerek [38], [46] (amelyeket e tanulmányban röviden tömeggörbe-módszereknek nevezünk);

(2) matematikai statisztikán alapuló módszerek [25], [42];

(3) általánosított tapasztalati összefüggéseket alkalmazó módszerek [12], [32], [34];

(4) sztochasztikus modellezési módszerek (más néven: mátrix-módszerek) [12], [31], [40], [55];

(5) lineáris és dinamikus programozást alkalmazó módszerek [16], [35], [37], [40], [54], amelyeket e tanulmányban — [23] nyomán — rendszertechnikai módszereknek nevezünk.

A felsorolt öt módszer-csoporthoz a következő megjegyzéseket fűzzük:

— A felsorolás sorrendje nagyjából tükrözi a módszerek kialakulásának, ill. elterjedésének időrendjét: az (1) csoportba tartozó első tömeggörbe-módszert RIPPL [38] 1883-ban publikálta, az (5) csoportba tartozó rendszertechnikai módszerek pedig az 1960-as évek kezdete óta terjedtek el; egy 1960-ban készült átfogó tanulmány [34] még csak az első három módszer-csoportot említi;

— A felsorolt módszer-csoportok eléggé jól elkülönülnek egymástól, de nem zárnak ki teljesen bizonyos kölcsönkapcsolatokat (pl. az (1) csoport szimulációs módszereinek alkalmazásához bemenő adatként igényelt hozzáfolyás-időfüggvényt gyakran mesterségesen kell előállítani, amihez viszont nem nélkülözhetők a (3) csoportba tartozó általánosított tapasztalati kapcsolatok és a (4) csoporttal rokon adatgenerálási módszerek);

— Az (1), (4) és (5) csoport módszerei általában tározótérfogat- és üzemrendmeghatározásra egyaránt alkalmasak, a (2) és (3) csoport módszerei csak a szükséges tározótérfogatot — ill. általánosabban: az összetartozó (K , R) értékpárokat — szolgáltatják;

— A számítástechnikai apparátust nem igénylő (elsősorban tapasztalati képleteket, ill. nomogramokat alkalmazó) (3) csoportbeli — és részben (2) csoportbeli — módszerek napjainkban elsősorban egy-egy nagyobb régió tározási lehetőségeinek tömeges összehasonlító számbavételéhez nyújthatnak nagy gyakorlati segítséget;

— Az első három csoport módszerei inkább csak egyedi tározókra [3], a legutóbb kialakult (4) és (5) csoport módszerei már együttműködő tározók rendszerére [39] is alkalmazhatók;

— A tározószámítási feladatok a gyakorlatban a leggyakrabban a (6b) alakban jelentkeznek; a közvetlen cél igen sokszor a valamely adott $q(t)$ víz-igény-időfüggvényhez tartozó $R = R(K)$ függvény előállítása. Ezt a feladatot az (1) csoportba tartozó tömeggörbe-módszerek az — észlelt, vagy mesterségesen előállított — $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvénynek a K_i térfogatú tározó általi $y_{K_i}(t)$ vízeresztés-időfüggvénné való átalakítását ismételten szimulálva és az R_{K_i} értékeket az előállított $y_{K_i}(t)$ függvényekből számítva oldják meg. A (4) csoportba tartozó sztochasztikus módszerek (mátrix-módszerek) viszont az $R(K)$ függvényt közvetlenül az $x(t)$ függvény eloszlási struktúrájából, a tározóműködés szimulálása nélkül állítják elő. (Az utóbbi csoportba egyébként matematikusok számára is csak nehezen követhető, „tisztá” tározóelméleti módszerek is tartoznak);

— A (4) és az (5) csoportba tartozó módszerek alkalmazása általában hatalmas számítástechnikai apparátust igényel, úgyhogy szélesebb körű gyakorlati elterjedésüket az elektronikus számítógépek nyújtotta lehetőségeknek köszönhetik. A számítógépek fejlődése ugyanakkor kedvezően hatott az (1) csoport módszereinek alkalmazhatóságára is, mivel igen nagy lehetőséget biztosít a szimuláció bemenő információjaként igényelt $x(t)$ adatsorok tetszőleges hosszúságban és tetszőleges számú változatban való előállítására. Mivel az (1) csoport módszerei jó betekintést engednek a tározóműködés folyamatába s ezzel lehetővé teszik a számítástechnikai apparátussal végzett szimuláció realitásának mérnöki megítélését, az (5), különösen pedig a (4) csoport módszereire viszont ez egyáltalán nem jellemző, végülis valószínűsíthető, hogy a számítógépek elterjedése az egyedi tározók gyakorlati méretezése terén inkább kedvez az (1), mint a (4) és (5) csoport módszereinek. (Az (5) csoport vonatkozásában l. bővebben az 5.2. szakaszban);

— Magyar kutatók elsősorban a (3) csoportba tartozó módszerek kidolgozása és fejlesztése terén értek el kimagasló és mindmáig jól hasznosítható eredményeket [32], [34], amelyek közül PUSKÁS T. gyakorlati szakemberek számára is közzétett módszere [41] egyrészt Magyarország tározási lehetőségei-

nek számbavétele során [48], [49], másrészt számos azóta megépült hazai tározó méretezése során, széles körben hasznosult. A (4) csoportba tartozó sztochasztikus módszerek alkalmazása és fejlesztése terén ZSUFFA I. ért el eredményeket [55]. Végül az utóbbi évek magyar szakirodalmában több példát is találhatunk az (1) csoport szimulációs tömeggörbe-módszereinek [17], [33], [43] és az (5) csoport rendszertechnikai módszereinek [24], [39], [45] alkotó alkalmazására.

— Mind az öt módszer-csoport hatékonyságának értékelésével, alkalmazási területének kijelölésével stb. e tanulmányban nem foglalkozunk részletesebben: az 5. fejezetben csupán a legősibb (1) és a legújabb (5) módszer-csoport összehasonlításáról a [23] tanulmányban a (6c) jelű vízeresztés-optimalizációs feladattal kapcsolatban közölt megállapításokat ismertetjük.

3. A tározószámítási feladatok megoldása tömeggörbe-módszerekkel

3.1. RIPPL módszer

A (6a) tározóegyenlettel kitűzött méretezési feladatok legegyszerűbb változata az $R^* = 100\%$ és $q(t) = \bar{x}$ helyettesítéssel adódó

$$K = f_K(x(t), \bar{x}, R^* = 100\%) \quad (7)$$

feladat, amely tehát az $x(t)$ hozzáfolyásnak a tározó által való teljes T -beli kiegyenlítését írja elő.

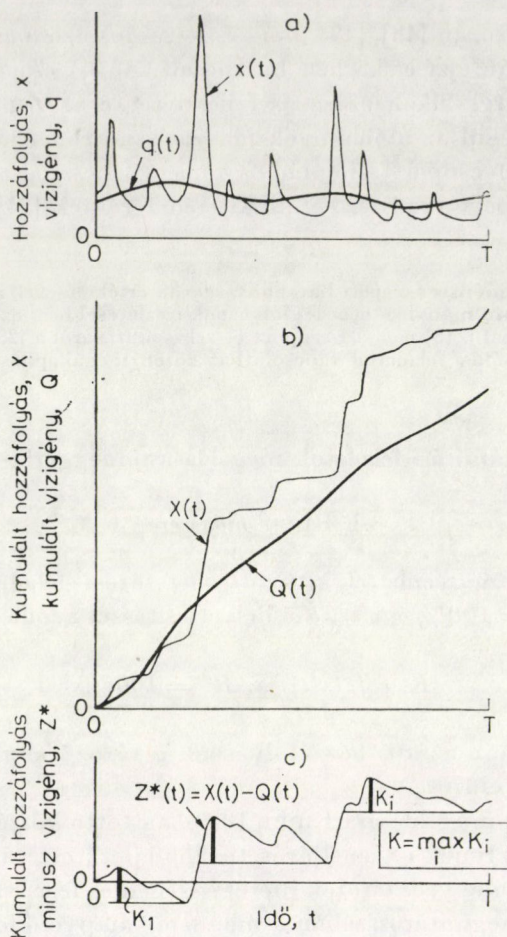
A (7) feladat megoldására RIPPL 1883-ban tette közzé híres tömeggörbe-eljárását [38], amelynek — az eljárás továbbfejlesztett változatai révén — a vízhasznosítási célú egyedi tározók méretezésében és legcélszerűbb üzemirányítási rendjének a meghatározásában a mai napig alapvető jelentősége van.

A Rippl-módszer eredeti alakjában a (7) feladat megoldására a jövőbeli $x(t)$ időfüggvényt helyettesítő múltbeli (észlelt) $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvényből előállított $X(t)$ tömeggörbét alkalmazta, amelyhez az egyenletes vízszolgáltatást jelképező $\bar{x} \cdot t$ egyenessel párhuzamos érintőket húzott. Bizonyítható, hogy a keresett K tározókapacitás egyenlő az utóbbi érintők közötti legnagyobb X -irányú ordinátametszékkel.

A Rippl-módszer egyik egyenértékű — grafikus szerkesztés szempontjából kényelmesebben kezelhető — változata az $X(t)$ tömeggörbe helyett a $Z_0(t)$ maradék-tömeggörbét alkalmazza. Ebben az esetben a keresett K tározókapacitás értelemszerűen a $Z_0(t)$ görbéhez húzott vízszintes érintők közötti legnagyobb Z_0 -irányú ordinátametszékkel lesz egyenlő.

A (6a) feladat $R = 100\%$ előírásával, de nem konstans $q(t)$ vízigény-időfüggvényre ($\bar{q} \leq \bar{x}$) adódó

$$K = f_K(x(t), q(t), R^* = 100\%) \quad (8)$$



1. ábra. Rippl tömeggörbe-módszerének elvi vázlata időben változó $q(t)$ vízigény esetében

változata a maradék-tömeggörbe módszer elvének segítségével szintén könnyen megoldható [23], [52]. A megoldás kulcsa ekkor a (2c) szerinti $Z^*(t)$ maradék-tömeggörbe, amely tendenciájában növekvő függvény és szemléletesen egy végtelen térfogatúnak képzelt tározó feltöltődési görbéjeként értelmezhető. E görbe helyi szélsőértékeihez meg kell húzni azokat a vízszintes érintőket, amelyeknek mindegyike az érintési pontnak csak egyik oldalán (az alsó érintő pl. csak tőle balra) metszheti a $Z^*(t)$ görbét. A keresett K tározókapacitás egyenlő a szomszédos — sorrendben mindig felső és alsó — érintők alkotott érintőpárok közötti Z -irányú metszékek — vagyis a T -időszak kritikus részidőszakaihoz tartozó minimális K_i feltöltődési értékek — közül a legnagyobbal (1. ábra).

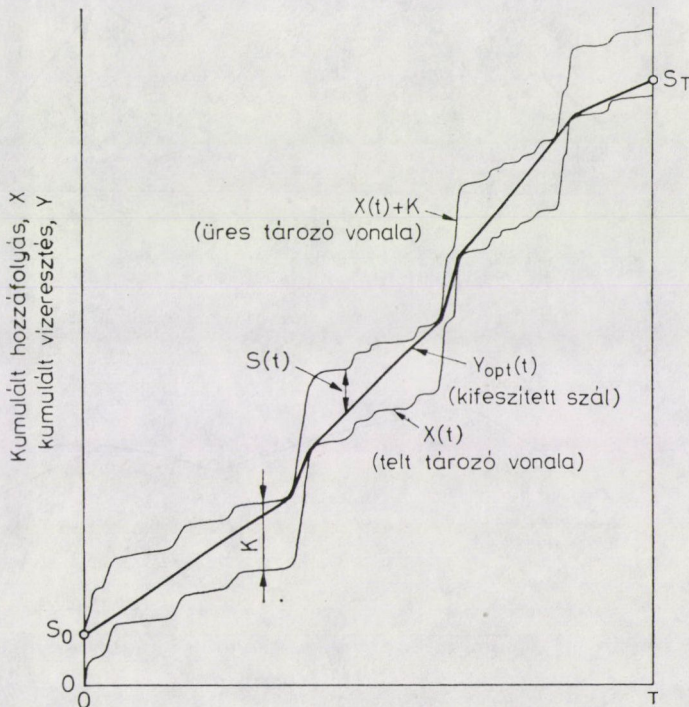
A Rippl-módszer eddig vázolt mindkét — az $X(t)$ tömeggörbén és a $Z_0(t)$, ill. $Z^*(t)$ maradék-tömeggörbén alapuló — változata a K tározótérfo-

tot lényegében a tározó T időszakbeli működtetésének *szimulációjával* határozza meg. A módszer szemléletes, jól érzékelteti a tározó működését. Bár a módszer eredetileg grafikus eljárás, természetesen numerikus alakban is alkalmazható. Az is természetes, hogy a módszer nem csak az észlelt $x(t)$ időfüggvény jövőbeli megismétlődésének feltételezésével, hanem a jövőbeli T időszakban várható $x(t)$ időfüggvény tetszőleges — konstruált, ill. valószínűsített — modelljének a felvételével is alkalmazható. A módszerrel kapott K eredmény — feltéve, hogy a T tervezési időszakban valóban a felvett $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvény valósul meg — teljesen pontos, ill. megbízható.

3.2 A tömegörbe-módszer általánosított változatai

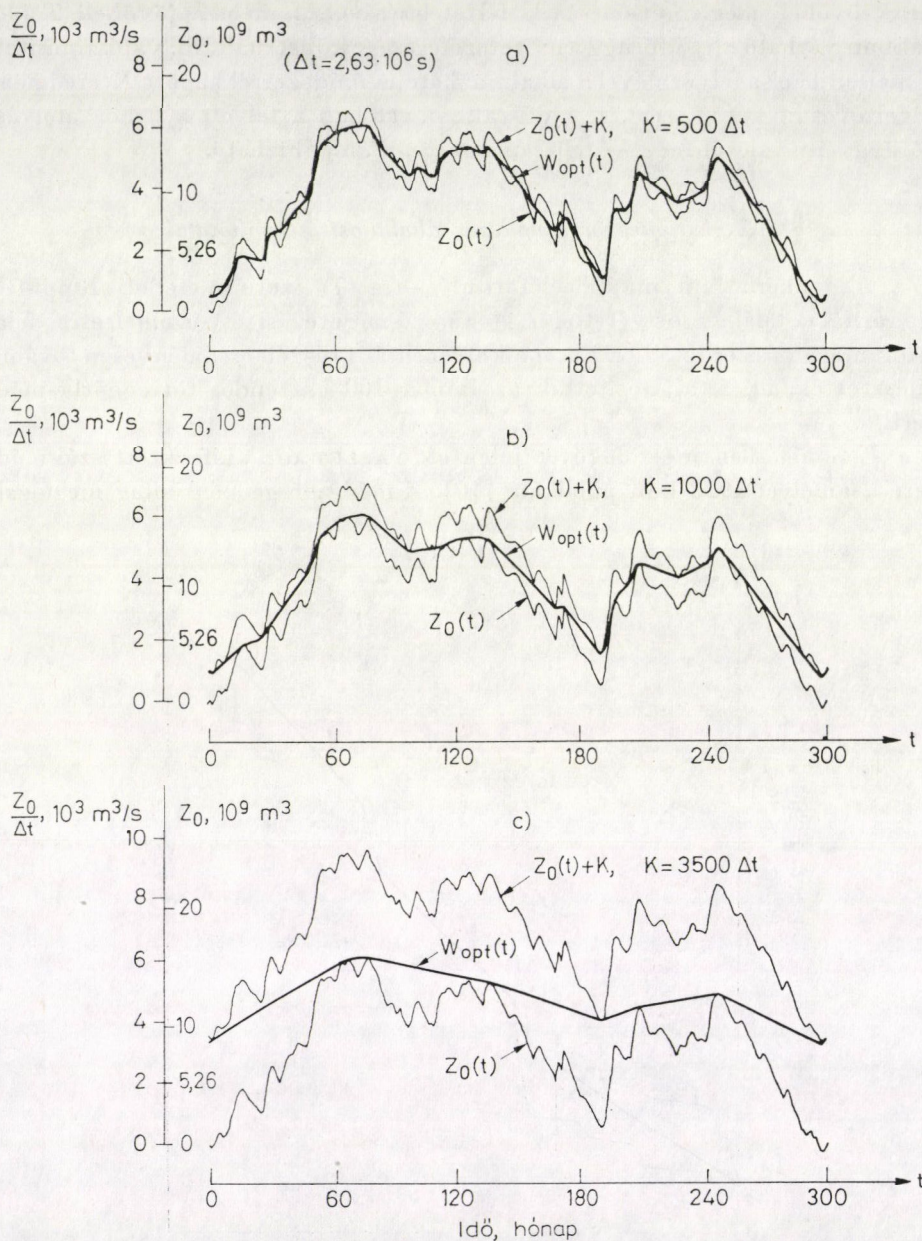
A gyakorlatban inkább előforduló — a (7) szerinti, eredeti Rippl-féle feladatnál általában összetettebb — tározó-méretezési és -üzemeltetési feladatok megoldása érdekében Európa kontinentális részén eredményesen továbbfejlesztették, ill. általánosították az immár 100 esztendőes tömegörbe-módszert.

E fejlődésben mérföldkövet jelentett VARLET ún. „kifeszített szál módszere”, amelyet 1923-ban publikált [46]. E módszer geometriailag megfogal-



2. ábra. Varlet kifeszített szál módszerének elvi vázlata

mazott lényege a következő: a (6c) feladat megoldását jelentő $y_{\text{opt}}(t)$ víz-eresztés-időfüggvény $Y_{\text{opt}}(t)$ tömeggörbéjének képe nem más, mint az $X(t)$ és az $X(t) + K$ tömeggörbe alkotta „folyosó” belsejében a $t = 0$ és a $t = T$ idő-



3. ábra. Varlet kifejlesztett szál módszerének alkalmazása maradék-tömeggörbékkel és különböző K tározótérfogatokkal [23]

ponthoz tartozó S_0 és S_T végpontot összekötő legrövidebb út, ill. „kifeszített szál” (2. ábra). A módszer természetesen a $Z_0(t)$ maradék-tömeggörbe segítségével is értelmezhető; ezesetben a szerkesztés közvetlen eredménye az optimális vízeresztés $W_{\text{opt}}(t)$ maradék-tömeggörbéje (3. ábra). — Megjegyezzük, hogy a Varlet-féle $Z_0(t)$, $Z_0(t) + K$ „folyosó” segítségével a $q(t) = \text{konst.}$ esetben a (6b) feladat geometriailag szintén értelmezhető és rendkívül egyszerűen megoldható (4/e ábra).

A tömeggörbe-módszer továbbfejlesztett és napjainkban rendelkezésre álló változatai lényegében továbbra is a tározó tervezési időszakon belüli működését szimuláló eljárások, amelyekkel az általános tározóegyenlet (6a), (6b) vagy (6c) változata viszonylag egyszerűen — közvetlenül vagy iterációval — megoldható. Közös tulajdonságuk az is, hogy

— a bemenő információként ismertnek feltételezett $x(t)$ hozzáfolyás- és $q(t)$ vízigény-időfüggvény megvalósulása esetén teljesen pontos megoldást adnak,

— észlelt vagy mesterségesen előállított $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvényekre egyaránt alkalmazhatók,

— a tározó működésének folyamatát áttekinthetően, ill. követhetően mutatják be,

— akár grafikus, akár numerikus (programozott) alakjukban alkalmazhatók.

A tömeggörbe-módszernek a tározóegyenlet három változatára tetszőlegesen alkalmazható numerikus és grafikus változatai a magyar szakemberek számára is jól hozzáférhetők, nemcsak a műegyetemi tananyagban ([52], 8.1. fejezet), hanem kézikönyvszerű részletes útmutatásként is ([53], 3.4.4.4. fejezet). SZESZTAY K. a Balaton vízkészletgazdálkodására vonatkozó, immár klasszikus szimulációs vizsgálatait [43] tömeggörbe-módszerrel végezte, ezenkívül egy további kidolgozott alkalmazási számpélda is rendelkezésre áll [22], sőt, a VIZITERV-ben a bemenő adatsor szimulálását is tartalmazó tározó-méretezési és teljesítő-képesség-vizsgálati programot is kidolgoztak ([50], 39. old.). E tanulmányban ezért nem ismer-tjük e módszereket részletesebben, hanem megelégszünk kiragadott módszertani példák bemutatásával.

3.3 Számpéldák a tömeggörbe-módszerekre

Az I. táblázatban — terjedelmi okokból kivonatosan — közölt és a 4. ábrával szemléltetett tározószámítási számpéldák bemutatásának fő célja annak érzékeltetése, hogy a tömeggörbén alapuló szimulációs módszerek a gyakorlatban előforduló tetszőleges — a (6a), a (6b) vagy a (6c) tározóegyenlettel adott — típusú feladat megoldására kiválóan alkalmasak. A számpéldák bemutatásának másik célja: a magyar nyelvű szakirodalomban [52], [53] található módszertani útmutatások kiegészítéseként egységes keretbe foglalt segédlet, ill. minta adása a módszerek gyakorlati alkalmazásához, ill. az eddiginél szélesebb körben való elterjesztéséhez.

A számpéldákat a Bódva folyó 37,9 fkm szelvényében, Perkupa községtől északra levő völgyszűkület elzárásával létesíthető tározóra dolgoztuk ki,

amely tározási lehetőségekben szegény országunknak volumen és gazdasági hatások szempontjából is egyik legjelentősebb völgyzárógátas tározási lehetősége [47], [49]. Az elzárási szelvényhez tartozó vízgyűjtőterület nagysága 1167 km², amelyből 865 km² Csehszlovákia területére esik.

A számítások alapidőegységül — az egyszerűsége törekedve, de a gyakorlati használhatóság igényét is szem előtt tartva — az átlagos hónapot választottuk, tehát $\Delta t = 2,63 \cdot 10^6$ s. A számításokban szereplő valamennyi (elvileg folytonos) időfüggvényt tehát értelemszerűen Δt időalapú lépcsős függvény helyettesíti.

$T = 47$ év (1932–1978) $n = 564$ hónapjának a tervezett elzárási szelvényében levonult x_i havi középvízhozamait vízhozam-kapcsolati összefüggések segítségével, egyrészt a Bódva szendrői vízmérce-szelvényének (vízgyűjtője: 1496 km²) 1932–1978-ra vonatkozó, másrészt a szalonnai vízmérce-szelvényének (1235 km²) 1961–1978-ra vonatkozó vízhozam-adatsorából állítottuk elő.

Az I. táblázatban, maradék-tömeggörbéken alapuló szimulációval, öt tározószámítási feladatot oldottunk meg: kettőt-kettőt a (6a) és a (6b) jelű, egyet pedig a (6c) jelű tározóegyenletre; pontos meghatározásuk a táblázat fejlécében olvasható. Az 1. feladat az eredeti, (7) szerinti Rippl-feladat: a teljes vízhozamkiegyenlítéshez — vagyis $y(t) = q_1 = \bar{x} = 7,01$ m³/s állandó vízeresztéshez — szükséges K_1 tározótérfogat meghatározása. A 2. feladat a $q_2 = 5,5$ m³/s állandó vízigény teljes biztonsággal való kielégítéséhez szükséges K_2 tározótérfogat meghatározása. A 3. feladat a $q_3 = 4,0$ m³/s állandó vízigény $K_3 = 61 \cdot 10^6$ m³ hasznos tározótérfogathól történő kielégítésének R_3 biztonságát számítja. A 4. feladat az 1 éves periódusú $q_4(t)$ vízigény-időfüggvény ($\bar{q} = 4,4$ m³/s) ugyancsak $K_4 = 61 \cdot 10^6$ m³ kapacitású tározóból való kielégítésének R_4 biztonságát határozza meg. Végül az 5. feladat $K_5 = 122 \cdot 10^6$ m³ esetére a (6c) tározóegyenlet szerinti $y_{\text{opt}}(t)$ optimális vízeresztés-időfüggvényt állítja elő.

Az 1–4. feladat számítása magában a táblázatban nyomonkövethető, az 5. feladatot — a kifeszített szál meghatározását — KLEMEŠ-től átvett [23] számítógépi programmal oldottuk meg,⁴ a táblázat (18) és (19) oszlopába csak e számítás végeredményeként kapott $W_{\text{opt}}(t)$ és $y_{\text{opt}}(t)$ függvények értékeit írtuk be.

Számításainkban — mint említettük — az $x(t)$, $q(t)$ és az $y(t)$ időfüggvényeket m³/s mértékegységű havi középértékeik $\{x_i\}$, $\{q_i\}$ és $\{y_i\}$ sorozata helyettesíti. A $Z_0(t)$, $Z(t)$ és $W(t)$ maradék-tömeggörbék m³ mértékegységű ordinátái helyett — kizárólag kényelmi okokból — azok Δt -vel osztott, tehát szintén m³/s mértékegységű értékeit használjuk (Pl. a $Z(t)$ maradék-tömeggörbe Δt_i végéhez tartozó

$$Z_i = \sum_{j=1}^i (x_j - y_j) \cdot \Delta t$$

⁴ Az 5. feladatot számítógépen GILYÉNNÉ HOFER Alice okl. mérnök oldotta meg.

ordinátája helyett annak

$$Z_i/\Delta t = \sum_{j=1}^i (x_j - y_j)$$

változtatásával számolunk.) Ennek következtében a táblázatban előforduló — akár bemenő adatként szereplő, akár eredményként adódó — tározótérfogat-értékeket is azok Δt -vel osztott (vagyis m^3/s mértékegységű) mérőszámai helyettesítik, tehát az utóbbiakat még szorozni kell Δt -vel, hogy m^3 -ben megkapjuk a keresett tározótérfogatot. (A táblázatban alkalmazott és a valóságos mértékegységek kapcsolatát közvetlenül érzékeltetik a 4. ábra grafikonjának bal és jobb oldalán feltüntetett, eltérő mértékegységű ordináta-osztások.)

A kiindulási feltevésként korlátlanak képzelt tározótérfogatra vonatkozó 1. feladatban a *vízeresztési utasítás* alapelve az, hogy a q_i vízigényt — elsősorban az x_i hozzáfolyásból, ennek elégtelensége esetén pótlólagosan a tározóból — mindig ki kell elégíteni. Ha az x_i hozzáfolyás nagyobb, mint a q_i vízigény, akkor viszont az $(x_i - q_i)$ különbséget nem telt tározó esetén részben, vagy egészben annak vízpótlására kell fordítani, telt tározó esetén pedig tovább kell engedni. Ennek az alapelvnek megfelelően az y_i havi vízeresztéseket ((6) oszlop) az alábbi — a szimuláció logikájából adódó — összefüggésből számítottuk [22] (figyelembe véve a Δt -vel való osztásról mondottakat):

$$y_i = \begin{cases} q_i, & \text{ha } x_i \leq q_i + |Z_{i-1}/\Delta t|, \\ x_i - |Z_{i-1}/\Delta t|, & \text{ha } x_i > q_i + |Z_{i-1}/\Delta t|. \end{cases} \quad (9)$$

A korlátos tározótérfogattal számoló 3. és 4. feladat vízeresztési rendje hasonló a 2. feladathoz azzal a kiegészítéssel, hogy e feladatban az (ezúttal nem végtelennek képzelt) tározó kiürülése is előfordulhat, s ezesetben q_i -nél kisebb y_i vízeresztésre (vagyis vízkorlátozásra) is sor kerülhet. Ennek az alapelvnek megfelelően az y_i vízeresztés-értékeket ((9) és (14) oszlop) a következő összefüggés szolgáltatta:

$$y_i = \begin{cases} q_i, & \text{ha } q_i + |Z_{i-1}/\Delta t| - K/\Delta t \leq x_i \leq q_i + |Z_{i-1}/\Delta t|, \\ x_i - |Z_{i-1}/\Delta t|, & \text{ha } x_i > q_i + |Z_{i-1}/\Delta t|, \\ x_i - |Z_{i-1}/\Delta t| + K/\Delta t, & \text{ha } x_i < q_i + |Z_{i-1}/\Delta t| - K/\Delta t. \end{cases} \quad (10)$$

(Nyilvánvaló, hogy a (9) vízeresztési utasítás a (10) utasításnak a $K = +\infty$ helyettesítéssel adódó különleges esete.)

Látható, hogy a (9) és (10) vízeresztési utasításban meghatározó szerepe van a (2a) szerinti $Z(t)$ maradék-tömeggörbének, más néven: tározó-igénybevételi görbének.⁵

⁵ A (9), ill. (10) jelű vízeresztési utasítás szerinti $y(t)$ függvénnyel számított, nem-pozitív értékkészletű $Z(t)$ maradék-tömeggörbének az angol nyelvű irodalomban használatos neve: „storage depletion curve” szó szerinti fordításánál („tározó-kiürülési görbe”) szerencsésebb a „tározó-igénybevételi görbe” elnevezés, hiszen a nem-monoton $Z(t)$ függvény valójában a tározóból (telt állapotához képest) mindenkor hiányzó vízmennyiséget, vagyis a tárolt vízkészlet igénybevételének mértékét adja meg.

Megjegyezzük még, hogy a (9) és (10) képletben a nem-pozitív értékkészletű $Z(t)/\Delta t$ függvény $Z_{i-1}/\Delta t$ ordinátái mindenütt abszolút érték-jel nélkül és így ellenkező műveleti jellel is szerepelhetnének; a fenti írásmód csupán az esetleges előjelhibák megelőzését célozza.

A 2–4. feladat megoldásához ismernünk kellett a tározó-igénybevétel $t = 0$ -hoz tartozó kezdeti értékét. Ezt úgy határoztuk meg, hogy feltettük az $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvény T hosszúságú szakaszának egymás utáni kétszeri előfordulását és a tározó működését (elvileg) két, egyenként T hosszúságú ciklusra szimuláltuk. Az első ciklus számításait $Z^{(1)}(t = 0) = 0$, ill. $S^{(1)}(0) = K$ (vagyis telt tározó) feltevésével kezdtük, a második ciklust viszont az első ciklus végére adódott $Z^{(2)}(t = 0) = Z^{(1)}(t = T)$ értékkel kezdtük és az eredmények szempontjából a második ciklust tekintettük mértékadónak.⁶

Az 5. feladat megoldásához, kiindulási adatként, az S tározóteltség $t = 0$ -hoz és $t = T$ -hez tartozó értékét is fel kellett vennünk. A felvétel, vízház-tartási megfontolás alapján, [23] nyomán, az

$$S(0) = S(T) = K_5 \cdot \frac{|Z_{\min}|}{Z_{\max} + |Z_{\min}|} \quad (11)$$

értékkel történt.

Az 1. feladat megoldásának egyetlen ciklus szimulálásával kapott eredménye, a 3.1 szakaszban mondtak szerint: $K_1 = Z_{0,\max} + |Z_{0,\min}|^7$, a 2. feladaté: $K_2 = |Z_{\min}|$, ahol a szélsőértékek a táblázat (5), ill. (8) oszlopában szereplő mennyiségek szélsőértékeinek Δt -szeresei. A 3. és a 4. feladat megoldásának eredménye a vízkorlátozások hónapokra a (12), ill. (17) oszlopban kimutatott $\Delta q_k \leq 0$ mennyiségek összegéből levezethető R vízigénykielégítési biztonság, amelyet az (5) képlet alábbi diszkretizált, értelemszerűen átalakított és Δt -vel egyszerűsített változatával számítottunk:

$$R [\%] = 100 \left[1 + \frac{\sum \Delta q_k}{n \cdot \bar{q}} \right]. \quad (12)$$

Végül az 5. feladat megoldásának eredménye az optimális vízeresztés — számítógéppel előállított — $W_{\text{opt}}(t)$ maradék-tömeggörbét (a „kifeszített szálát”) helyettesítő diszkrét $\{W_i\}$ ordináta-sorozat (18. oszlop), amelyből az optimális vízeresztés $y_{\text{opt}}(t)$ időfüggvénye általában az

$$y_{\text{opt}}(t) = \frac{dW_{\text{opt}}(t)}{dt} + \bar{x} + \frac{S(0) - S(T)}{T} \quad (13)$$

⁶ A gyakorlati számítás során a második ciklust természetesen elég addig számítani, amíg annak $Z(t)$ értékei eltérnek az első ciklusétól, hiszen az első megegyező $Z(t)$ érték után a második ciklus megismétli az elsőét. Ez a 2. feladat esetében a 75. hónapban, a 3. feladat esetében már a 4. hónapban bekövetkezett.

⁷ Megjegyezzük, hogy az 1. feladat természetesen a 2. feladat különleges változataként, a (9) vízeresztési utasítás alkalmazásával, kétciklusos szimulációval is megoldható lett volna (4/c ábra).

képlettel, ill. esetünkben e képletnek a (11) szerinti $S(0) = S(T)$ kiindulási feltétel és az idő-diszkrétizálás figyelembevételével átalakított

$$y_i = \frac{W_i - W_{i-1}}{\Delta t} + \bar{x} \quad (14)$$

változtatával számítható.⁸

Az *I. táblázatban* numerikusan bemutatott tározószámítási feladatmegoldásokat a 4. ábra szemlélteti.

Az ábrán a klasszikus *1. feladatra* a 3.1 szakaszban említett mindkét — az $X(t)$ és a $Z_0(t)$ görbén alapuló — grafikus megoldást bemutattuk. A *2. feladatra* viszont nem a klasszikus — az 1. ábra szerinti elven, vagyis a $Z^*(t)$ feltöltődési görbén alapuló — megoldást, hanem a $Z_0(t)$ maradék-tömeggörbén alapuló szerkesztő eljárást mutatjuk be. (A szerkesztés lényege: a $Z_0(t)$ görbéhez $q_2 - \bar{x}$ iránytangensű felső érintőket kell húzni; a keresett K_2 tározótérfogatot a második ciklushoz tartozó érintőszakaszok és a $Z_0(t)$ görbe közötti legnagyobb ordinátametszékkel egyenlő.) A *3. feladatnak* a 4/e ábrán szerkesztett megoldása a $\{Z_0(t), Z_0(t) + K\}$ folyosó belsejében húzott $q_3 - \bar{x}$ iránytangensű szakaszokon alapul. A vízeresztés $W(t)$ maradék-tömeggörbét e szakaszok, valamint az őket összekötő — a korlátos tározótérfogatból adódó kényszernek megfelelően — náluk nagyobb és kisebb iránytangensű szakaszok alkotják. Az ábrának a bemutatottnál jóval nagyobb eredeti változatáról kellő pontossággal leolvashatók a $W(t)$ görbe ($q_3 - \bar{x}$)-nél kisebb iránytangensű szakaszaihoz tartozó ΔQ_k vízhiányok, ill. az utóbbiakból számítható a keresett R_3 biztonság. A *4. feladatra* nem mutatunk be ábrát, mivel e feladatnak nincs egyszerű grafikus megoldása. Végül az *5. feladatnak* a kifeszített szál módszerével való megoldása tipikusan szerkesztési feladat (4/f ábra), amely azonban természetesen numerikusan is megoldható.

Hangsúlyozzuk, hogy a 4. ábrán szereplő 1, 2, 3, és 5. feladat a tömeggörbe módszerek segítségével *grafikusan* (szerkesztéssel) is *megoldható* (a 4. ábra rész-ábrái a megoldás módjaira is eligazítást adnak). A grafikus megoldás pontossága természetesen nem vetekedhet a numerikus szimulációéval, viszont szemléletességével sokat segíthet a tározóműködési folyamat érzékelésében. Az 5. feladatot megoldó Varlet-féle módszert pl. sokkal egyszerűbben és eredményesebben lehetett a módszer geometriai megfogalmazása alapján programozni, mint rendszertechnikai megfontolások alapján (l. még az 5.1 szakaszban).

⁸ Egyébként könnyű belátni [23], hogy a kifeszített szál két-két szomszédos sarokpontja közötti ΔT_i időszakban állandó értékű $y_{\text{opt}}(t)$ optimális vízeresztés-időfüggvénynek — a kifeszített szál-szakasz „folyosó”-beli helyzetétől függően — csak három értéke lehetséges.

$$y_{\text{opt},j} = \begin{cases} \bar{x}_{\Delta T_j} + K/\Delta T_j, \\ \bar{x}_{\Delta T_j}, \\ \bar{x}_{\Delta T_j} - K/\Delta T_j. \end{cases} \quad (15)$$

Az 5. feladat megoldását szemléltető 4/f ábrával kapcsolatban meg kell még jegyeznünk, hogy a módszer — pl. árvízbiztonsági és üdülési érdekek miatt — időben (évszakosan) változó nagyságú hasznosítható tározóterű tározókra is jól alkalmazható, ehhez csupán a kifeszített szálát közrefogó folyosó-határokat kell megfelelőképpen módosítani (aminek eredménye a gyakorlatban a folyosó periodikus szűkítése).

3.4 A tömeggörbe-módszer bírálata az Egyesült Államokban

Az angol nyelvterületen szinte napjainkig nem vettek tudomást a tömeggörbe-módszer RIPPL által immár 100 éve közzétett első változatának Európa kontinentális részén bekövetkezett jelentős fejlődéséről, amelynek következtében a tömeggörbe-módszer — amint azt a 3.3 szakasz számpéldái bizonyították — a tározókkal kapcsolatos legkülönbözőbb számítási feladatok megoldásának általánosan használható, pontos és szemléletes eszközévé lett. Az Egyesült Államokban például a tömeggörbe-módszert szinte napjainkig azonosítják a teljes vízhozamkiegyenlítést célzó, eredeti, (7) szerinti Rippl-féle tározókapacitás-meghatározási feladat megoldásával, még tovább szűkítve használhatóságát azzal a hiedelemmel, hogy a módszer csakis észlelt $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvénnyel használható, generált $x(t)$ függvénnyel nem alkalmazható. A tömeggörbe-módszer e hitelét vesztett, megkövesült torzképét egyik amerikai tankönyv a másikra örököltette [1], [26], [27], [30], a szakirodalom pedig harcosan bírálta.⁹ Méltán állapította meg az amerikai viszonyokról FIERING 1966-ban: „RIPPL 1883-ban publikálta tömeggörbe-módszerét és a tározóméretezés módszertana azóta is stagnált, kivéve A. HAZEN és Ch. SUDLER néhány újítását, egészen a legutóbbi évekig” [13].

„A legutóbbi évek”: az 1960-as évek kezdete, amikor megjelentek az amerikai színtéren a rendszertechnikai módszerek első tározószámítási alkalmazásai, amelyek azóta elárasztották a nemzetközi szakmai fórumokat és ott általános divattá válva, szinte egyeduralmat vívtak ki maguknak olyannyira, hogy „ott tartunk, hogy a tározóhidrológiában a tömeggörbe-módszer pusztá említését általában az előrehaladott szénilitás jelének tekintik” [23].

⁹ E kritikákra két példát idézünk: „A tömeggörbe-módszer nem alkalmas arra, hogy a tervező a módszer segítségével megbecsülje a kisvízi időszakokban jelentkező vízhiányokkal járó kockázatot” ([14], 7. old.). „Ez a módszer csak észlelt vízhozam-sorozatot használ a tervezett tározó értékelésére” [20]. Nyilvánvaló, hogy ezek a kritikák nem az eredeti tömeggörbe-módszerre, hanem annak az amerikai szakmai köztudatban kialakult torzképére vonatkoznak.

4. A tározószámítási feladatok megoldása rendszertехnikai módszerekkel

A tározószámításra alkalmazott rendszertехnikai eljárások két legsikeresebb és legnépszerűbb képviselője: a REVELLE és társai nevéhez fűződő, lineáris programozást alkalmazó ún. lineáris döntési elv [18], [35], [36], [37] és a YOUNG által kidolgozott dinamikus programozási modell [54]. Mindkét módszer leírása magyar nyelven is megtalálható: a dinamikus programozási modellel pl. a [40] mű VI. I. 3. fejezetében, a lineáris döntési elvé pedig a [10] mű 4. fejezetében, sőt, az utóbbit eljárást Magyarországon is alkalmazták már konkrét feladat megoldására [45].

5. A tömeggörbén alapuló módszerek és a rendszertехnikai módszerek összehasonlítása

A tározóhidrológia rendszertехnikai módszereinek apostolai szerint a tározási feladatok rendszertехnikai megközelítése valóságos ugrást jelent a kőkorszakbeli tömeggörbe-módszerhez képest. E vélekedések terjesztőinek dolgát jelentősen könnyítette a tömeggörbe-módszerekről az amerikai szakemberek tudatában kialakult — a 3.4 szakaszban már vázolt — *torzkép*, továbbá az is, hogy a százesztendőös tömeggörbe-módszer elnevezéséhez — legalábbis a felületes ítélkező tudatában — óhatatlanul társult a grafikus eljárások velejáró pontatlanságának képzete. Elterjedt tehát a mítosz, hogy a tömeggörbe-módszerek lényegükben grafikus eljárások, amelyek a számítógépre alapozott rendszertехnikai módszerek megjelenésével egyszeriben elavultak. A tározóhidrológia kutatói között ezért az 1960-as évek kezdete óta szinte rítussá vált a tömeggörbe-módszer látványos elvetése és a konjunktúrával kecsegtető rendszertехnikai iskolákhoz való csatlakozás.

1979-ben azonban megjelent egy tanulmány [23], nem kisebb szak tekintély, mint a 2.2. szakasz (4) csoportját alkotó sztochasztikus tározószámítási eljárások egyik legeredményesebb fejlesztője, V. KLEMEŠ tollából, aki ugyancsak megkérdőjelezi a rendszertехnikai eljárások vitathatlannak híresztelt fölényét és a tömeggörbén alapuló tározószámítás reális megvilágítására törekszik a rendszertехnika tükrében. A következőkben főleg ebből — a hidrológiai tudományos közlemények szürke tömegéből érvelésének szenvedélyességével és stílusának iróniájával is kitűnő — tanulmányból ragadunk ki a szükséges tisztánlátás megteremtéséhez fontosnak ítélt megállapításokat.

Röviden összefoglalva, KLEMEŠ tagadja, hogy a „kőkorszakbeli” tömeggörbe-módszertől a tudomány modern szakaszába való, sokat emlegetett ugrás valójában valaha is bekövetkezett volna, és pedig azon egyszerű oknál fogva, hogy a tömeggörbe-módszert — a rendszertехnika apostolainak minden híresztelése ellenére — valójában sohasem küszöbölték ki a tározóhidroló-

giából; nem is lehet kiküszöbölni. A tározóhidrológia területén különösen agresszíven fellépő rendszerttechnikai kultusz csupán a kulisszát változtatta: az eredetileg egyszerű fogalmakat mesterkélten dagályos nyelvezet („terminológiai bozót”) alkalmazásával elködösítette,¹⁰ valamint a sokszor csak dekoratív jelentőségű matematikai apparátust és „az igen-igen szerény kutatási eredményeket igen mély és szerteágazó problémák megoldásaiként tálalta” [2]. Így például $Z(t)$ tározó-igénybevételi görbéből (I. táblázat (8), (11) és (16) oszlopa) „a rendszer-viselkedés jelleggörbéje” lett, a tömeggörbe-módszer számítását pedig „az egymást követő csúcsok algoritmusa”-nak nevezik és mint valami teljesen új, sosem látott módszert találják [29].¹¹

A tömeggörbe-módszert és a rendszerttechnikai módszert alkalmazó tározóhidrológiai irányzat fentiekben érzékeltetett vitájában állást foglaló [23] tanulmány fő állításai a következők:

(a) Egyedi, vízhasznosítási célú tározók vonatkozásában a (6a) és (6b), többcélú tározók vonatkozásában a (6c) tározóegyenletekkel determinisztikusan megfogalmazott feladatok megoldása a tömeggörbe-módszer megfelelő változatával érhető el. E megoldáshoz mind a dinamikus, mind a lineáris programozással nyerhető megoldások szerencsés esetben is csak konvergálhatnak.

(b) A tömeggörbén alapuló — akár grafikus, akár numerikus — módszereknek további nagy előnye a rendszerttechnikai módszerekkel szemben, hogy a tározó működését áttekinthetően, követhetően érzékeltetik.

(c) A számítástechnikai hatékonyság szempontjából összehasonlítva a két módszercsoportot, megállapítható, hogy a tömeggörbe módszerek számítási (gép)időigénye nagyságrendekkel kisebb, mint a rendszerttechnikai módszereké.

¹⁰ A rendszerttechnika ürügyén terjedő dagályos zsargon egyébként a magyar vízügyi tudományos dolgozatokban is felbukkant már. Olyannyira, hogy egy 1980-ban elhangzott opponensi véleményben a következő intelem próbálja gátolni további terjedését: „... a tudomány területén bármiféle szemlélet és elmélet alkalmazása soha nem lehet cél, hanem csak eszköz. Eszköz, melynek hasznossága, vagy kevésbé hasznossága az adott, megoldandó feladattól függ. Közismert tény viszont, hogy a tudományos feladatok megoldásánál mindig törekedni kell a feladat jellegéhez igazodó legegyszerűbb út követésére. Egy egyszerűen is megoldható kérdés bármilyen szemléleten alapuló és bármilyen elméletet is igénybe vevő túlzott elbonyolítása nem erény, hanem hiba. Hiba, mivel arra utal, hogy az ezt az utat követő kutató előtt nem kizárólag a megoldandó cél lebeg, hanem burkoltan, vagy nyíltan arra törekszik, hogy bizonyos eszközök használatában bizonyos fogalmak alkalmazásában való jártasságát bemutassa” [44].

¹¹ Egyébként a (2a) szerinti $Z^*(t)$ maradék-tömeggörbén alapuló Rippl-feladat (1. ábra) is meghatározható — ha éppen úgy tetszik — rendszerttechnikai zsargonban, mint „hátraléptető, előretekintő, rekurzív szekvenciális maximálás”, ami is a dinamikus programozás egyik alapvető módszere. RIPPL eljárása ugyanis a következő alakban is felírható [23]:

$$K_i = \max (K_{i-1}, C_i), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

az eredmény pedig:

$$K = K_n,$$

ahol az i index az időben hátrafelé lépeget, C_i az i -edik száraz időszakban szükséges feltöltés mértéke, végül K_i az i -edik száraz időszak kezdetétől a teljes T időszak végéig tartó időszak alatt a korlátozás nélküli vízigény-kielégítéshez szükséges minimális tározókapacitás.

(d) A tömeggörbe-módszer fölényét kimondó fenti (a)–(c) megállapítások a tározószámítási feladatoknak csak egy meghatározott — bár a gyakorlatban legerősebb — körére: a vízhasznosítási célú egyedi tározók (6a) és (6b) típusú méretezési feladatára, továbbá a többcélú — egyedi vagy együttműködő — tározók (6c) típusú üzemrend-optimalizálási feladatára érvényesek.

5.1 Az eredmény pontossága

A fenti (a) állítást a [23] tanulmány a tározóegyenletek közül legösszetettebb (6c) tározóüzemelési feladattal kapcsolatban mind YOUNG dinamikus programozási eljárására, mind pedig a REVELLE és társai által javasolt lineáris döntési elvre vonatkozóan, részletesen bizonyítja. A bizonyítás — alapvető fontossága ellenére — terjedelmi okokból itt még kivonatossan sem ismertethető, csupán a levezetés gondolatmenetének főbb lépéseit idézzük:

— Bizonyítható, hogy amennyiben a vízigény-kielégítés elégtelensége okozta L gazdasági veszteség a tározóból történő y vízeresztés *konvex* függvénye (pl.: $L = y^a$, $a < 0$ vagy $a > 1$) — továbbá tökéletesen ismerjük a T -beli $x(t)$ hozzáfolyás-időfüggvényt, — akkor a tározó gazdaságilag legkedvezőbb üzemrendjét a (6c) feladat írja le, vagyis az $y(t)$ vízeresztés minél teljesebb kiegyenlítésére kell törekedni. Ez a matematikailag bizonyított megállapítás megegyezik a szakemberek között évtizedek óta elfogadott, intuíción alapuló, néha meg is fogalmazott általános nézettel [25]. A $\text{Var}[y(t)] = \min$ követelményt egyébként a lineáris döntési elvcélfüggvényeként is érvényesítették [36].

— Bizonyítható, hogy a (6c) feladat a legpontosabban a Varlet-féle „kifeszített szál módszerével” oldható meg (3.2 szakasz, 3. és 4/f. ábra), amely lényegében a véges tározóból való vízeresztés optimális feladatát variációszámítás útján közelíti, és amely numerikusan (számítógéppel) is egyszerűen megoldható.

— Matematikailag bizonyítható, hogy mind a Young-féle — az Euler-Lagrange-féle differenciálegyenleten ([4], 669–672 old.) — alapuló dinamikus programozási eljárás, mind pedig a REVELLE és társai által kidolgozott lineáris programozási eljárás — hatalmas matematikai apparátussal ugyan, de — ugyancsak a Varlet-féle feladatot oldja, ill. közelíti meg.

— Végül rá kell mutatni, hogy — feltéve a bemenő $x(t)$ függvény jövőbeli tényleges megvalósulását — a kifeszített szál módszere teljesen pontos megoldásra vezet, míg a rendszertechnikai módszerek eredményeit — egyes változók kényszerű diszkretizálása miatt, de egyéb okok miatt is¹² — mindig valamekkora pontatlanság terheli.

¹² Loucks és Dorfman [28] szerint például a ReVelle és társai által kidolgozott valószínűség-kényszerű lineáris döntési elv módszerének alkalmazásával a valóban szükségesnél nagyobb tározótérfogat adódik, elsősorban azért, mert az eljárás — implicit módon — felteszi a kritikus vízhozamok és tározóteltség-értékek egyidejű előfordulásának lehetőségét, aminek valószínűsége a valóságban elhanyagolható. A lineáris programozást alkalmazó eljárások közül HOUCK [19] modellje közelíti meg a legjobban az explicit megoldást.

A fentiekben csak vázlatosan ismertetett bizonyítás alapján KLEMEŠ [23] nem minden él nélkül jegyzi meg: „Kiváló képességű kutatók regimentjének több, mint egy évtizednyi összpontosított erőfeszítései után, valamint dagályos és homályos zsargonban írt disszertációk tornyosuló tömege után (amelyekben fölös mennyiségben hemzsegnek az egyenletek, többszörösen kimerítve két ábécé jelölési lehetőségeit és számos számítógép csődjét okozva), a tározóüzemelés optimalizására használt két legnépszerűbb rendszertechnikai módszer — a lineáris és a dinamikus programozás — mostanára lassanként eljutott odáig, hogy eredményei egyenértékűek egy csaknem 60 éves tömeggörbe-módszer, az igénytelen nevű „kifeszített szál módszere” segítségével kapható eredményekkel.”

5.2 A tározó-működés folyamatának áttekinthetősége

Alapvetően egyet kell értenünk REVELLE és társa [35] véleményével, amely szerint: „A számítógépektől és a matematikai optimalástól függetlenül is ... a tározótervezés alkotó tevékenység és ... a tervezés minősége nagyrészt attól függ, hogy a tervezőnek sikerül-e a tervezett rendszer valamennyi összetevője közötti kölcsönhatásokat átlátnia.” Ugyanakkor meglepő, hogy REVELLE és társa a lineáris programozási megfogalmazást olyannak tekintette, amely e vonatkozásban segíthet a tervezőnek. Azt, hogy e megközelítés révén mennyire nehéz átlátni a feladatot, a legcsattanósabban magának a lineáris döntési elven alapuló eljárásnak a fejlődéstörténete igazolja. A kutatócsoportnak 6 évre volt szüksége ahhoz, hogy a [35] szerinti — [10]-ben is ismertetett — eljárás alapjául elfogadott tározóüzemelési utasítástól több szakaszban eljusson a [18] szerinti, árnyaltabb utasításig. Az utóbbi utasítás azonban egyrészt még mindig messze elmarad a Varlet-féle megoldás pontosságától, másrészt a tározóműködés mechanizmusába semmiféle használható betekintést nem tesz lehetővé, leszámítva azt az eléggé triviális felismerést, hogy a jelenlegi vízeresztés a múltbeli hozzáfolyás-értékektől függhet. Nem tűnik ki belőle, hogy ez a függőség a múlt mekkora szakaszára terjed ki, milyen sebességgel lazul, lazul-e egyáltalán, hogy minderre van-e a tározó méretének valamilyen hatása stb. Az egész „masszát” a $\text{Var}[y(t)] = \min$ feltételen kell keresztülsajtolni és ez, bármilyen egyszerű legyen is, a [18] szerinti lineáris programozási megfogalmazásban a parciális differenciálegyenletek dzsungelén keresztül egy hatalmas lineáris egyenletrendszerhez vezet. REVELLE és társai [35] előbb idézett vélekedésének tükrében a módszer egyszerűen önmaga dugájába dől: a tervező mindenfajta betekintés lehetőségétől meg van fosztva és kénytelen a számítógép adta eredményeket valamiféle isteni kinyilatkoztatásként fogadni.

Hozzá kell tennünk: nemcsak a lineáris döntési elv, hanem mindkét rendszertechnikai módszer esetében problémát okoz, hogy mind az eredményt, mind a számítási folyamatot kivonják a közvetlen ellenőrzés („utánszámozás”) lehetősége alól: a tervezőnek nincs más választása, mint hogy higgyen a programozónak és — mindenek fölött — a számítógépnek (amint arra FIERING is rámutatott [15]). Ennek viszont súlyos következményei lehetnek.¹³

¹³ E dilemma megoldása, vagyis a „kutató-számítógép” ciklus rövidre zárása, bizonyos mértékig talán a *kisszámítógépek* elterjedésétől várható.

A tározóműködési folyamatot szimuláló tömeggörbe-módszerek különböző — akár numerikus, akár grafikus — változatainak szemléletessége, közvetlen követhetősége nem kíván bizonyítást; elég, ha tanulmányunk 3.3 szakaszának számpéldáira utalunk. A (6c) feladatot a kifeszített szál módszerével megoldó számpélda (I. táblázat (18), (19) oszlopai, 4/f ábra) például egyértelműen érzékelteti, hogy a vízeresztés optimális értéke szakaszonként (a kifeszített szál két-két sarokpontja között) állandó, a pillanatnyi tározóteltségtől független, a $W_{\text{opt}}(t)$ tömeggörbe sarokpontjaiban viszont hirtelen változik. E tények elégségesek a lineáris döntési elv alapfeltevésének megingatásához, amely szerint az optimális vízeresztési értékek a jövőbeli vízhozamok ismerete nélkül is jól becsülhetők.

A kifeszített szál módszerének talán éppen abban áll a legfőbb gyakorlati haszna, hogy megérteti velünk ezt a kellemetlen igazságot azáltal, hogy az optimális tározóműködés mechanizmusát a legmeztelenebb alakjában, almatematikai csomagolás és dagályos zsargon nélkül mutatja be. A lehető legvilágosabban bizonyítja az észlelt (történelmi) vízhozamsorozat értékét és a vízhozam-előrejelzés fontosságát: nyilvánvalóvá teszi ugyanis, hogy előrejelzés nélkül a vízeresztés rendje operatív szinten érdemben nem optimálható, s ezt semmilyen rendszertechikai bűvészkedés nem pótolhatja. Érzékelteti, hogy a kis tározók miért igényelnek rövidebb időelőnyű előrejelzéseket, mint a nagy tározók; demonstrálja a nagy tározók működésének robusztusságát (3. ábra), ami miatt az optimális vízeresztést legjobban a középvízhozammal lehet megközelíteni; és azt is megvilágítja, hogy az éves szabályozású tározók esetében miért lehet nagyonis hasznos a működtetési nomogramokon alapuló vízeresztés és miért nincs e nomogramoknak semmi értelme a hosszúidejű szabályozást célzó nagy tározók esetében. Azt is megmagyarázza, hogy miért nem annyira a pillanatnyi vízhozamok, mint inkább a tározó egyes „működési ciklusai” alatt érkező vízhozam-összegek meghatározó jelentőségűek az optimális működtetés számára, minthogy éppen ezek a víztömegek határozzák meg az optimális vízeresztés számára döntő jelentőségű sarokpontok elhelyezkedését.

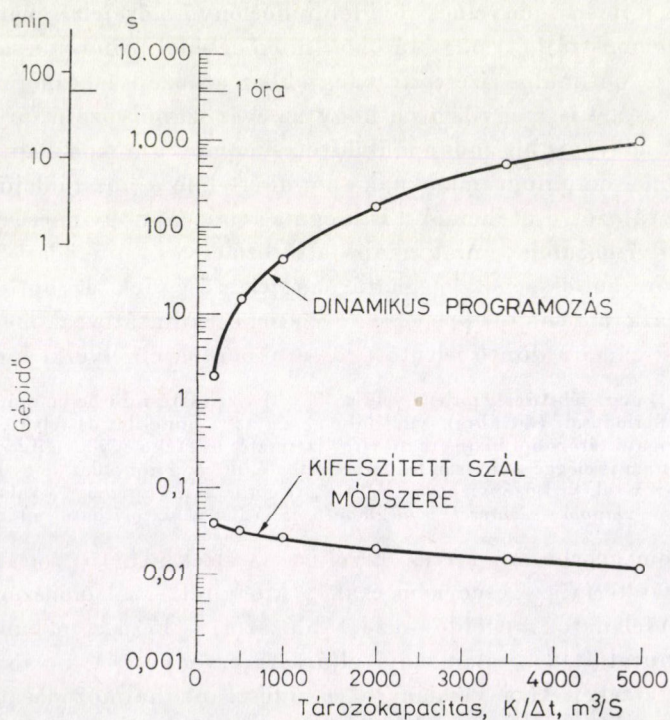
A $Z_0(t)$ maradék-tömeggörbe s vele a $W_{\text{opt}}(t)$ vízeresztési görbe markánsan kirajzolódó kb. 13 éves periódusait (4/f ábra) szemlélőben még az a gondolat is felvetődhet, hogy a K_s hasznos térfogatú tározóból biztosítható $y(t)$ vízeresztés mértéke egyetlen ilyen jól kiválasztott periódus alapján is eléggé pontosan lenne becsülhető, ill. az a gondolat, hogy vízhozamészlelés hiányában az x sokévi középvízhozam és a $Z_0(t)$ görbe karakterének — valamilyen földrajzi általánosításon alapuló — ismerete is meglehetősen jó alapot biztosíthatna a tározószámításhoz.

A tömeggörbe-módszerek érzékletes, áttekinthető voltára vonatkozó megállapítás természetesen nem csak a kifeszített szál módszerére, hanem a (6a) és (6b) feladatot megoldó — az I. táblázat (4) — (17) oszlopában, ill. a 4/b — 4/e ábrán bemutatott — valamennyi eljárásra érvényes. A 4/e ábra pl. egyebek között jól érzékelteti a vízhiányos részdőszakok halmozódását a T időszak kezdetén s ezzel ráirányítja a figyelmet a tározóból R_3 -nál kisebb biztonsággal kielégíthető további vízhasználatok engedélyezésének lehetőségére.

5.3 Számítástechnikai hatékonyság

A tározó-optimalás dinamikusan és lineárisan programozási módszereinek számítástechnikai hatékonyságára vonatkozó (c) megállapítás egyik forrása GABLINGER és LOUCKS [16] vizsgálata, amely szerint a dinamikus programozási módszer a lineáris programozási módszerhez szükséges gépidő 1/20 részét igényli. KLEMEŠ [23] viszont egyrészt YOUNG [24] előre-leptető dinamikus programozási algoritmusával, másrészt a kifeszített szál módszer számítógépre alkalmazott algoritmusával, a havi középvízhozamok 25 éves sorozata alapulvételével optimalta egy egyedi tározó vízeresztéseit. Az optimalást a tározókapacitás különböző értékeire végezte el (3. ábra) úgy, hogy a dinamikus programozással különböző K tározókapacitásokra kapott eredmények kb. ugyanolyan pontosak legyenek ($\pm 5\%$) és hogy a legnagyobb vizsgált tározókapacitást vizsgálata során a rendelkezésre álló (CDC 6000-CYBER 74 rendszerű) számítógép kapacitása teljesen ki legyen használva. Az 5. ábrán a tározókapacitás függvényeként feltüntettük a két összehasonlított módszer által az optimális vízeresztések meghatározására igényelt gépidőt. Látható, hogy

— a kifeszített szál módszerével való megoldás 1÷5 nagyságrenddel kevesebb gépidőt igényel, mint a dinamikus programozás,



5. ábra. Ugyanazon vízeresztés-optimalási feladatnak dinamikus programozással és a Varlet-módszerrel történő megoldásához igényelt gépidő [23]

— míg a dinamikus programozással (akárcsak a lineáris programozással) való megoldást sújtja a „méretnövelés átka”, vagyis a tározókapacitással együtt rohamosan nő a gépidő-igény (az állapotváltozók, ill. a megoldandó egyenletek számának növekedése miatt), addig VARLET módszere esetében a kapcsolat éppen fordított jellegű (a kifeszített szál töréspontjai számának csökkenése miatt).

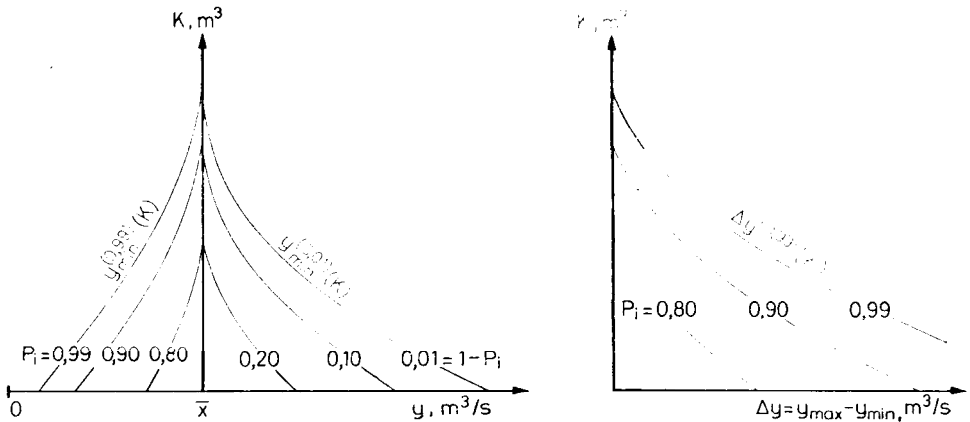
5.4 A tömegörbe módszerek szűkebb alkalmazási területe

A (d) megállapítással kapcsolatban csak arra mutatunk rá, hogy a Varlet-módszer általában a tömegörbe-módszerek felsorolt nagy előnyeiert fizetni is kell. A Varlet-módszer egyszerűségének és eleganciájának például az az ára, hogy csak egy eléggé speciális — a jövőbeli hasznok zérus kamatlábával és egyszerű alakú, egyváltozós veszteségfüggvénnyel jellemezhető — optimálási feladat megoldására használható. (Hozzátehetjük, hogy a gyakorlati feladatok, elsősorban a jövőre vonatkozó információk nagyon is bizonytalan volta miatt, igen sokszor ilyen egyszerű alakban jelentkeznek.) A (6a) és (6b) típusú feladatok megoldására bemutatott tömegörbe-módszerek (4/d, 4/e ábra) viszont kizárólag vízhasznosítási célú egyedi tározók méretezésére használhatók.

A lineáris és dinamikus programozási megközelítések számítástechnikai esetlenségéért és intuitív szemléltetőerő-hiányáért általánosabb és rugalmasabb voltak kárpótol.

Együttműködő tározók alkotta többcélú rendszerek üzemének diszkontálás figyelembevételével való optimalására ezért elsősorban a rendszertechnikai módszerek ajánlhatók [5], [10], [39]; eredményes alkalmazhatóságukat kiváló hazai példa [24] is igazolja.

E helyen érdemes még megemlítenünk, hogy újabban ДУК [11] kitűnő példát mutatott be arra, hogy a Varlet-módszernek egy-egy tározási szelvény nagyszámú generált hozzáfolyás-adatsorára való ismételt alkalmazásával és a kapott eredmények statisztikai értékelésével hogyan lehet az adott szelvény — vagy akár egy földrajzi régió — tározási lehetőségeire *általánosított információkat* előállítani: Egy-egy adott tározószelvényben $n = 1000$ darab T terjedelmű generált $x(t)$ adatsorra, s minden egyes adatsor esetében a tározótérfogatok ugyanazon $K = 0, K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_N$ sorozatára VARLET módszerével előállította a (6c) szerinti $y_{opt}(t)$ vízeresztés-időfüggvényt. (K_N értelemszerűen [mind az n adatsorozat esetében teljes kiegyenlítést biztosító tározótérfogatot jelöli.] Ezzel minden K_j értékhez n darab $y_{opt}^{(j)}$ függvényt, ill. $n - n$ darab $y_{max}^{(j)}$ és $y_{min}^{(j)}$ értéket kapott. Az utóbbi értékek tapasztalati eloszlásfüggvényeiből, meghatározott $P_i = 0,99; 0,90; 0,80$; stb. meghaladási valószínűségekhez (P_i, y_{min}, K_j) adatsorokat, valamint a megfelelő $1 - P_i = 0,01; 0,10; 0,20$; stb. meghaladási valószínűségekhez ($1 - P_i, y_{max}, K_j$) adatsorokat határozott meg. Ezután (y, K) koordináta-rendszerben ábrázolta és összekötötte az azonos P_i valószínűséggel jellemzett (y_{min}, K) és az azonos $1 - P_i$ valószínűséggel jellemzett (y_{max}, K) pontokat. Az $y_{max}^{(P_i)}(K)$ és az $y_{min}^{(1-P_i)}(K)$ görbék serege az adott szelvény tározási hatásmezőjét alkotja. Ebből a $\Delta y = y_{max} - y_{min}$ értékek $K = f(\Delta y, P)$ tározóhatásmezője is előállítható (6. ábra). Hasonlóképpen egy adott földrajzi régióban levő különböző tározószelvények valamely rögzített P_0 valószínűséghez tartozó $y^{(P_0)} = f(P_0)(K)$ görbéinek serege is értékes áttekintő információt szolgáltat a régió tározási lehetőségeiről.



6. ábra. Adott tározási szelvény nagyszámú generálthozzáfolyás-adatsoraira VARLET módszerével előállított $y_{opt}(t)$ vízeresztés-időfüggvények statisztikai feldolgozásával kapott tározóhatásmezők [11]

5.5 A két módszer-csoport összehasonlításának célja

KLEMEŠ [23] tanulmányának korántsem az volt a célja, hogy a tározó-méretezés gyakorlatából kiküszöbölje a rendszertechnikai módszereket, hanem az, hogy hamis dicsőségük piederstáljáról a földre szállítsa le őket, rámutatva a tömeggörbén alapuló hagyományos mérnöki eljárásokkal szükségszerűen fennálló lényegi kapcsolatokra. Az e kapcsolatokra való ráébredés csak hasznára válhat a tározótervezés tudományának azzal, hogy egyrészt lehűti a rendszertechnikai vakbuzgalmat, másrészt pedig visszaadja a mérnökök önbizalmát.

A [23] tanulmány másik célja az volt, „hogy fokozza annak a veszélynek a tudatát, amellyel a számítógép és rendszertechnika különösen a lelkes újoncot fenyegeti, akinek még nem volt alkalmja kitermelni önmagából a szükséges ellenanyagokat a nagyonis fertőző két vírus: a rendszertechnikai sznobizmus és vakbuzgóság ellen, amelyek közül az első a rendszertechnikai megközelítést a hagyományos bölcsesség merev elutasításával, a második pedig a haladást a számítástechnikával és egyszerű dolgok elkódosításával azonosítja.” Legutóbb BERLINSKI [2] intézett frontális támadást a modern tudomány e pestisei ellen. Habár nem lehet vele mindenben egyetérteni, amikor szinte az egész rendszertechnikát, mint valami gyalázatot, mint a trivialitásoknak és a tartalmatlanságnak a matematika és a számítástechnikai dekoráció segítségével való elfedésére irányuló „rámenős és botrányos kísérlet”-et elveti, FÜERING [15] alábbi megjegyzéseit aligha vitathatjuk:

„A mérnöki szakirodalom tömve van matematikai modellekkel, optimalisasi eljárásokkal, Bayes-elemzésekkel, mesterséges vízhozamok egzotikus formuláival és mindenféle számítástechnikai tanulmányokkal. Optimális terveket, optimális működtetési rendeket, optimális mindenfelét keresünk. Kórusban zengjük az automatizált számítástechnika, érzékenységelemzés és modellalkotás litániáját. Mindez valamiféle új vallássá vált... És a hagyományos mérnöki módszerek elvetésének jelenleg népszerű hullámában... könnyen megfedkezhetünk arról a tényről, hogy a hagyományos bölcsesség esetleg nem-optimális, de jóval megbízhatóbb eredményeket választhat, mint törékeny matematikai modelljeink...”

6. Következtetések

A (6a), (6b) és (6c) egyenlettel kitűzött tározószámítási feladatok megoldására kidolgozott módszereknek a 2.2. szakaszban felsorolt öt csoportja közül a legrégibb módszer, a hozzáfolyás tömeggörbéjén (vagy maradék-tömeggörbéjén) alapuló szimuláció biztosítja e feladatok legegyszerűbb és általában legmegbízhatóbb megoldását. A tanulmány 5. szakaszában ismertettük KLEMEŠ [23] részletes vizsgálatait, amelyeknek eredménye szerint a 2.2. szakasz (1) csoportjába sorolt, immár klasszikus tömeggörbe-módszerek pontosabbak, áttekinthetőbbek és számítástechnikailag is hatékonyabbak, mint az (5) csoportba sorolt — legújabb és legdivatosabb — rendszertechnikai módszerek.¹⁴ Csak egyetértőleg idézhetjük a [23] tanulmány bevezető mondatait:

„Az utóbbi évtized folyamán azt híresztelték, mintha a tározóméretezési feladatok rendszertechnikai megközelítése valamiféle ugrást jelentene a kőkorszakbeli tömeggörbe-módszertől a tudomány modern szakaszába. Ez az ugrás azonban valójában sohasem következett be. Volt ugyan néhány kisebb ugrás, de ezek legtöbbje, a közhiedelemmel ellentétben, nem távolodott el a tömeggörbe-módszertől, sőt még az sem mondható, hogy valamennyi ugrás előrehaladást jelentett volna...”

A tömeggörbe-módszerekkel kapcsolatban egyetlen érdemi *ellenvetés* tehető: az, hogy a völgyzárógát szelvényére vonatkozó, kellő hosszúságú és megbízhatóságú hozzáfolyás-idősort igényelnek, amely viszont többnyire nem áll közvetlenül rendelkezésre. Ez az ellenvetés azonban a tározószámítási módszerek valamennyi csoportjára érvényes, mert a tározót tápláló hozzáfolyásra vonatkozó — észlelt vagy spekulatív úton származtatott — információ nélkül semmilyen tározószámítás nem végezhető el. Az észlelt adatsor hiánya esetén az azt pótló, hidrológiai-matematikai eszközökkel előállított mesterséges vízhozam-idősor alkalmazása viszont semmivel sem okozhat nagyobb bizonytalanságot, mint a többi tározószámítási módszerbe — közöttük a (3) csoport általánosított tapasztalati összefüggéseibe — is szükségképpen beépült adat-hiány-pótló mechanizmus.

A fentiek miatt a tározószámítás tömeggörbe-módszereinek a magyar vízgazdálkodási gyakorlatban való szélesebb körű alkalmazása is feltétlenül ajánlható a vízhasznosítási célú egyedi tározók (6a) és (6b) típusú méretezési feladatainak és a többcélú — egyedi vagy együttműködő — tározók (6c) szerinti üzemrend-optimalási feladatainak a megoldására.

A magyar szakemberek számára a tömeggörbén alapuló tározószámítások gyakorlati végrehajtásához — a hivatkozott magyar nyelvű módszertani szakirodalmon [22], [52], [53] kívül — az e tanulmány I. táblázatában és 4. ábráján közölt számítási példák nyújthatnak eligazítást. A (6c) képlet szerinti üzemrend-optimalási feladat megoldására használható „kifeszített szál módszer” FORTRAN IV. nyelven írt számítógépi programja a szerzőtől beszerezhető.

¹⁴ KLEMEŠ idézett megállapításának kiegészítéseként érdemes megjegyezni, hogy SCHULTZ a [40] mű VII. 1.2 fejezetében, konkrét számítási példán a tanulmányunk 2.2 szakaszának (4) csoportjába tartozó sorbanállási elmélet alapján történő tározószámítást hasonlítja össze a tömeggörbén alapuló szimulációval. Ez az összehasonlítás is a szimulációs eljárás megbízhatóbb voltát mutatta ki.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány egyes részleteinek pontosítására, kiegészítésére vonatkozó tanácsokért a szerző köszönettel tartozik KOVÁCS Györgynek, a MTA levelező tagjának, a VITUKI főigazgatójának; SZESZTAY Károlynak, a műsz. tud. doktorának, a Vízgazdálkodási Intézet főmunkatársának és V. NAGY Imrénnek, a műsz. tud. doktorának, a Budapesti Műszaki Egyetem tanszékvezető tanárának.

IRODALOM

1. BABBIT, H. E.—DOLAND, J. J.—CLEASBY, J. L.: Water Supply Engineering. McGraw Hill, New York 1955
2. BERLINSKI, D.: On Systems Analysis, MIT Press, Cambridge, Mass. 1976
3. BUKOVSKY Gy.: Kis tározók létesítése. *Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató*, 42. sz. VIZDOK, Budapest 1972
4. CSÁKI F.: Korszerű szabályozáselmélet. Akadémiai Kiadó, Budapest 1970
5. CSERMÁK B.: A vízhasználatokkal kapcsolatos időszzerű hidrológiai és vízkészletgazdálkodási kérdések. Kandidátusi értekezés (Kézirat). Budapest 1968
6. CSERMÁK, B.: Ermittlung des zukünftigen Wasserbedarfs. *gwf-wasser/abwasser*, 114. H. 11, (1973)
7. DÁVID L.—DUCKSTEIN, L.: Vízgyűjtőfejlesztési alternatívák értékelése költség-hatékonyság-elemzéssel. *Vízügyi Közlemények* (1976), 3. sz.
8. DOMOKOS M.: A vízkorlátozás mutatói. *Műszaki Tudomány*, 46. (1973)
9. DOMOKOS M.: A vízkészletgazdálkodási rendszertervezés bevezetésének problémái. Beszámoló a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) 1971. évi munkájáról. Budapest 1974
10. DOMOKOS M.: Vízkészletgazdálkodási rendszerek modellezése. *Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató*, 72. sz. VIZDOK, Budapest 1975
11. DYCK, S.: Zur Bemessung und Bewirtschaftung von Speichern. (Als Manuskript gedruckt). Informationen der Technischen Universität Dresden, 1980
12. DYCK, S.—SCHRAMM, M.: Stochastische Methoden der Speicherwirtschaft. *Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft*, Nr. 28. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1968
13. FIERING, M. B.: Synthetic Hydrology: An Assessment, in Water Research, edited by A. V. Kneese and S. C. Smith, pp. 331–341, John Hopkins Press, Baltimore, Md. 1966
14. FIERING, M. B.: Streamflow Synthesis, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1967
15. FIERING, M. B.: Reservoir Planning and Operation, in Stochastic Approaches to Water Resources, vol. II, edited by H. W. Shen, pp. 17–1 to 17–21; H. W. Shen, Fort Collins, Colo. 1976
16. GABLINGER, M.—LOUCKS, D. P.: Markov Models for Flow Regulation. *J. Hydraul. Div. Amer. Soc. Civil Eng.*, 96 (HY1), (1970), 165–181
17. GILYÉNÉ HOER A.: A tiszavölgyi tározás szimulációs vizsgálata. Beszámoló a VITUKI 1977. évi munkájáról. Budapest 1980
18. GUNDELACH, J.—REVELLE, C.: Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design, 5, A general algorithm, *Water Resour. Res.*, 11 (2), (1975), 204–207
19. HOUCK, M. H.: A method to include risk explicitly in optimal river basin planning, in Proceedings, *International Symposium on Risk and Reliability in Water Resources*, 1. pp. 119–126, University of Waterloo, Waterloo, Ont. 1978
20. JACKSON, B. B.: The use of streamflow models in planning. *Water Resour. Res.* 11 (1), (1975), 54–63
21. KARDOS M.: Mesterséges vízhozamsorozatok előállítása. Monte-Carlo elven alapuló szimulációs eljárások. *Hidrológiai Közöny*, (1973), 9–10. sz.
22. KEBEDE, A.: Dimensioning of Water Storage Reservoir for Irrigation on the Kessem River near Awara Melka (Ethiopia). *International Post-Graduate Course on Hydrology*, closing paper, Budapest 1979
23. KLEMEŠ, V.: Storage mass-curve analysis in a system-analytic perspective. *Water Resources Research*, V. 15. No. 2. (1979.) April
24. KORIS K.—NAGY B.—SZILVÁSI M.: A Velencei-tó vízszintszabályozási modellje. *Hidrológiai Közöny*, (1978) 5
25. KRICKIJ, S. N.—MENKEL, M. F.: Vodohozajsztvennüe rascsoťu. *Gidrometeorologiceszkoe Izdatel'sztvo*, Leningrad 1952

26. LINSLEY, R. K.—FRANZINI, J. B.: *Water Resources Engineering*. McGraw-Hill, New York 1972
27. LINSLEY, R. K.—KOHLE, M. A.—PAULHUS, L. H.: *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New-York 1949
28. LOUCKS, D. P.—DORFMAN, P. J.: An evaluation of some linear decision rules in chance-constrained models for reservoir planning and operation. *Water Resour. Res.*, 11 (6), (1975), 777—782
29. LOUCKS, D. P.: Surface-water quantity management models, in *Systems Approach to Water Management*, edited by A. K. Biswas, pp. 156—218. McGraw-Hill, New York 1976
30. MEAD, W. E.: *Hydrology*, McGraw-Hill, New York 1950
31. MORAN, P. A. P.: *The theory of storage*. Methven, London 1959
32. MOSONYI E.: Hegyvidéki nagyobb víztározó medencék hidrológiai méretezése. *Vízügyi Közlemények*, (1947) 1—4. szám és (1948) 1. szám
33. PAPP G.: Szimulációs modell a tározók hidrológiai méretezésére. *Hidrológiai Közöny*, (1976), 1
34. PUSKÁS T.: Tározómedencéink hidrológiai méretezése. Kandidátusi értekezés (kézirat). Budapest 1960
35. REVELLE, C.—JOERES, E.—KIRBY, W.: The linear decision rule in reservoir management and design. 1. Development of the stochastic model, *Water Resour. Res.*, 5 (4), (1969), 767—777
36. REVELLE, C.—KIRBY, W.: Linear decision rule in reservoir management and design. 2. Performance optimization, *Water Resour. Res.*, 6 (4), (1970), 1033—1044
37. REVELLE, C.—GUNDELACH, J.: Linear decision rule in reservoir management and design. 4. A rule that minimizes output variance, *Water Resour. Res.*, 11 (2), (1975), 197—203
38. RIPP, W.: The capacity of storage-reservoirs for water-supply. *Minutes Proc. Inst. Civil Eng.*, 71 (1883), 270—278
39. SALAMIN A.: Komplex hasznosítású tározórendszerek tervezése és üzemelése. *Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató*, 103 sz. VIZDOK, Budapest 1979
40. SOMOGYI M. (szerk.): *Vízgazdálkodási Tájékoztató*, 2. szám. (Kézirat). Központúvölgyi Vízügyi Igazgatóság, Budapest 1964
41. SZESZTAY K.: A sokéves tározótérzsükséglet meghatározása Krickij Sz. N. és Menkel N. F. statisztikai módszerével. *Hidrológiai Közöny*, (1952) 7—8
42. SZESZTAY K.: A Balaton vízkészletgazdálkodásának szimulációs vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* (1972) 10
43. SZIGYÁRTÓ Z.: Opponensi vélemény egy kandidátusi értekezésről. (Kézirat). MTA Budapest 1980
44. TOKÁR TNÉ: A lineáris programozás módszerének alkalmazása a tati Nagy-tó vízgazdálkodási helyzetének jellemzésére. Magyar Hidrológiai Társaság Vándorgyűlése, 4/7 sz. dolgozat, Sopron, 1976. okt.
45. VARLET, H.: Étude graphique des conditions d'exploitation d'un reservoir de régularisation. *Ann. Ponts Chaussées Mém. Doc.*, Partie Techn., 93. (1923), 61—79
46. VARSA E.: Összeállítás a Bódva völgyében Perkupa közelében levő tározási lehetőségről. (Kézirat). Budapest 1976
47. VITUKI (PUSKÁS T.): Magyarország vízkészlete, III., Vízározási lehetőségek. Budapest 1968
48. VITUKI (VARSA E.): Tározási lehetőségek Magyarország hegy- és dombvidékein. Budapest 1976
49. *Vízgazdálkodási Intézet*: 3. sz. kiegészítés a „Program-katalógus a Központi Vízügyi Programkönyvtár programjairól” c. kiadványához. Budapest 1980
50. VOTRUBA, L.: Uplatnění ekonomických hledisek při dodávce vody. *Práce ČVUT*, Praha (1963) 3.
51. V. NAGY I.: *Hidrológiai III.* Tankönyvkiadó, Budapest 1974
52. WMO (V. KLEMEŠ): A hidrológia vízgazdálkodási alkalmazásai. Nemzetközi Vízgazdálkodási sorozat, 1. sz. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest 1975
53. YOUNG, G. K., JR.: Finding reservoir operating rules. *Proc. Amer. Soc. Civil Eng.*, 93 (HY5), (1967), 297—321
54. ZSUFFA, I.: Matrix arithmetical relations in the dimensioning of dams and in the study of the operation of large lakes, in: *Inventory Control and Water Storages* (Ed.: A Prékopa), North Holland, Amsterdam 1973

Mass-curve Methods for Calculating Storage Basins and their Comparison by System-technique Methods. — Also in our days, one of the most significant part of tasks to be solved in connection with the actual hydrological water resources development, is the calculation to determine partly the storage capacity required, partly the convenient order of their operation; both of these functions are often jointly solved. A reservoir can be operating either individually, as an independent project or as an element of a system of co-operating reservoirs. Considering its principal purpose, it can be applied to water utilization, streamflow control or also to several purposes.

Massenkurvenmethoden der Speicherberechnung und Vergleich derselben mit den systemtechnischen Methoden. — Auch heutzutage bilden auf die Speicherbecken bezogenen Berechnungen eine der wichtigsten Aufgaben der praktischen hydrologischen Wasserwirtschaft. Das Anliegen derselben ist die Ermittlung teils des erforderlichen Fassungsvermögens, teils der zweckmäßigen Betriebsordnung der Speicher; oftmals werden beide Aufgaben parallel gelöst. Ein Speicher kann selbstständig (unabhängig) oder als ein Teil eines zusammenarbeitenden Speichersystems funktionieren. Die Speicher können zur Wasserausnutzung, zum Ausgleich des Abflusses und auch zu mehreren Zwecken dienen.

LAPLACE TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSA A RUGALMASSÁGTAN DINAMIKAI FELADATAINAK MEGOLDÁSÁRA

ECSEDI ISTVÁN*

[Beérkezett: 1979. december 18-án]

E tanulmány *Laplace*-féle integráltranszformáción alapuló módszert ismertet a rugalmasságtan dinamikai feladatainak megoldására. A vizsgált problémákban a tér-fogati terhelés és a felületi terhelés időtől való függése megegyezik.

1. Bevezetés

Kis alakváltozásokat és elmozdulásokat feltételezve, a homogén, izotróp, lineárisan rugalmas anyagú kontinuumok dinamikai problémái a következő egyenletek által kijelölt kerületérték feladattal hozhatók kapcsolatba ([1], [2]):

$$\Delta \mathbf{u} + \frac{1}{1-2\nu} \nabla \nabla \cdot \mathbf{u} - \frac{\rho}{G} \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} + \frac{\mathbf{q}}{G} = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in V, \quad \infty > t > 0; \quad (1)$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in \partial V_u, \quad \infty > t > 0; \quad (2)$$

$$2G \left[\mathbf{u}(\mathbf{n} \cdot \nabla) + \frac{1}{2} \mathbf{n} x (\nabla x \mathbf{u}) + \frac{\nu \nabla \cdot \mathbf{u}}{1-2\nu} \mathbf{n} \right] = \mathbf{p} \quad \mathbf{r} \in \partial V_p, \quad \infty > t > 0; \quad (3)$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{r}, 0) = \mathbf{a}(\mathbf{r}) \quad \mathbf{r} \in V; \quad (4)$$

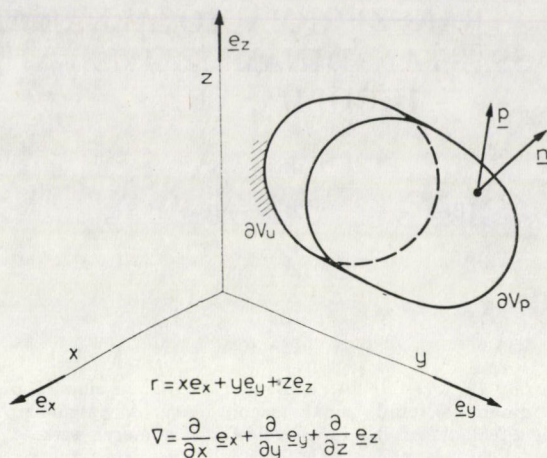
$$\left. \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} \right|_{t=0} = \mathbf{b}(\mathbf{r}) \quad \mathbf{r} \in V; \quad (5)$$

$$(\partial V = \partial V_n + \partial V_p).$$

A fenti egyenletekben a következő jelöléseket alkalmaztuk (1. ábra):

$\mathbf{r} = x\mathbf{e}_x + y\mathbf{e}_y + z\mathbf{e}_z$	helyvektor,
x, y, z	derékszögű koordináták,
$\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$	egységvektorok,
t	idő,
$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{e}_x + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{e}_y + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{e}_z$	Hamilton-féle differenciáloperátor,

* Dr. Ecsedi István, H-3531 Miskolc, Vászonfehéritő u. 24. IV. 1.



1. ábra. Lineárisan rugalmas anyagú test

„ · „	skaláris szorzás jele,
„ × „	vektorális szorzás jele,
$\Delta = \nabla \cdot \nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$	Laplace-féle differenciáloperátor,
ν	Poisson szám,
G	csúsztató rugalmassági modulus,
$q = q(\mathbf{r}, t)$	térfogati terhelés,
$\mathbf{p} = \mathbf{p}(\mathbf{r}, t)$	felületi terhelés,
$\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$	elmozdulás vektor,
$\rho = \rho(\mathbf{r})$	sűrűség
V	a rugalmas test által meghatározott térbeli tartomány
$\partial V = \partial V_u + \partial V_p$	a V tartomány határoló felülete,
\mathbf{n}	a ∂V_p felületszakasz P pontbeli normális egységvektora.

A tanulmány fejtegetései olyan esetre vonatkoznak, amelyben a térfogati és felületi terhelés időtől való függése

$$\mathbf{q}(\mathbf{r}, t) = f(t) \mathbf{q}_0(\mathbf{r}), \quad (6)$$

$$\mathbf{p}(\mathbf{r}, t) = f(t) \mathbf{p}_0(\mathbf{r}) \quad (7)$$

alakú. A két terhelés idő tényezője megegyezik.

2. Laplace transzformáció alkalmazása

Jelölje a Laplace transzformáció változóját s . Az (1), (2), ... (5) egyenletek Laplace transzformáltját véve az időváltozó szerint az alábbi egyenleteket nyerjük:

$$\Delta \mathbf{U} + \frac{1}{1-2\nu} \nabla \nabla \cdot \mathbf{U} + \frac{\rho s}{G} \mathbf{a} + \frac{\rho}{G} \mathbf{b} + \frac{F(s)}{G} \mathbf{q}_0 = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in V, \quad (8)$$

$$U(\mathbf{r}, s) = 0 \quad \mathbf{r} \in \partial V_u, \quad (9)$$

$$2G \left[U(\nabla \cdot \mathbf{n}) + \frac{1}{2} \mathbf{n} x (\nabla x U) + \frac{\nabla \cdot \mathbf{U}}{1 - 2\nu} \mathbf{n} \right] = F(s) \mathbf{p}_0 \quad \mathbf{r} \in \partial V_p. \quad (10)$$

A felírt egyenletekben

$$U(\mathbf{r}, s) = \int_0^\infty u(\mathbf{r}, t) e^{-st} dt, \quad (11)$$

$$F(s) = \int_0^\infty f(t) e^{-st} dt. \quad (12)$$

A (4), (5) egyenletek által előírt kezdeti feltételek a Laplace transzformáció végrehajtása után a (8) egyenletbe épültek be.

A (8), (9), (10) egyenletek által kijelölt kerületiérték feladat megoldásához néhány jól ismert alapvető összefüggést alkalmazunk.

Tekintsük a

$$\Delta \varphi_i + \frac{1}{1 - 2\nu} \nabla \nabla \cdot \varphi_i + \frac{\alpha_i^2}{G} \varrho \varphi_i = 0 \quad \mathbf{r} \in V, \quad (13)$$

$$\varphi_i = 0 \quad \mathbf{r} \in \partial V_u, \quad (14)$$

$$2G \left[\varphi_i (\nabla \cdot \mathbf{n}) + \frac{1}{2} \mathbf{n} x (\nabla x \varphi_i) + \frac{\nu \nabla \cdot \varphi_i}{1 - 2\nu} \mathbf{n} \right] = 0 \quad \mathbf{r} \in \partial V_p \quad (15)$$

egyenletek által kijelölt sajátérték feladatot [4].

Bizonyított, hogy a különböző sajátértékekhez tartozó saját függvények a $\varrho = \varrho(\mathbf{r})$ súlyfüggvény szerint ortogonálisak. Jelen tanulmányban feltesszük, hogy normáltak is a saját függvények, így fennáll a

$$\int_V \varrho \varphi_i \cdot \varphi_j dV = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1 & i = j \end{cases} \quad (16)$$

egyenlet.

Bármely a V tartomány felett értelmezett differenciálható $\mathbf{h} = \mathbf{h}(\mathbf{r})$ függvény a $\varphi_i = \varphi_i(\mathbf{r})$ sajátfüggvények segítségével

$$\mathbf{h}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{\infty} h_i \varphi_i(\mathbf{r}) \quad (17)$$

alakban is megadható, ahol

$$h_i = \int_V \varrho \varphi_i(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{h}(\mathbf{r}) dV. \quad (18)$$

Az α_i^2 sajátértékekkel kapcsolatban megjegyzendő, hogy ezek valamilyen pozitívok, és a végesben nem torlódó sorozatot alkotnak [4].

Legyen $\mathbf{u}_0 = \mathbf{u}_0(\mathbf{r})$ a következő statikai probléma megoldása:

$$\Delta \mathbf{u}_0 + \frac{1}{1-2\nu} \nabla \nabla \cdot \mathbf{u}_0 + \frac{\mathbf{q}_0}{G} = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in V, \quad (19)$$

$$\mathbf{u}_0 = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in \partial V_u, \quad (20)$$

$$2G \left[\mathbf{u}_0(\nabla \cdot \mathbf{n}) + \frac{1}{2} \mathbf{n}x(\nabla x \mathbf{u}_0) + \frac{\nu \nabla \cdot \mathbf{u}_0}{1-2\nu} \mathbf{n} \right] = \mathbf{p}_0 \quad \mathbf{r} \in \partial V_p. \quad (21)$$

A fenti eredményeket szem előtt tartva, a (8), (9), (10) egyenletek által kijelölt kerületiérték feladat megoldását

$$\mathbf{U}(\mathbf{r}, s) = F(s)\mathbf{u}_0(\mathbf{r}) + \mathbf{W}(\mathbf{r}, s) \quad (22)$$

alakban keressük.

A (22) alakú megoldás és a (8), (9), (10) egyenletek kombinálásával nyerjük az alábbi egyenleteket:

$$\Delta \mathbf{W} + \frac{1}{1-2\nu} \nabla \nabla \cdot \mathbf{W} - \frac{\varrho s^2}{G} \mathbf{W} - \frac{\varrho s^2}{G} F(s)\mathbf{u}_0 + \frac{\varrho s}{G} \mathbf{a} + \frac{\varrho}{G} \mathbf{b} = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in V, \quad (23)$$

$$\mathbf{W}(\mathbf{r}, s) = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in \partial V_u, \quad (24)$$

$$2G \left[\mathbf{W}(\nabla \cdot \mathbf{n}) + \frac{1}{2} \mathbf{n}x(\nabla x \mathbf{W}) + \frac{\nabla \cdot \mathbf{W}}{1-2\nu} \mathbf{n} \right] = \mathbf{0} \quad \mathbf{r} \in \partial V_p. \quad (25)$$

A felírt kerületiérték feladat megoldását sajátfüggvények szerinti sorfejtés módszerével oldjuk meg, vagyis feltesszük, hogy

$$\mathbf{W}(\mathbf{r}, s) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{c_i(s)}{\alpha_i^2 + s^2} \boldsymbol{\varphi}_i(\mathbf{r}). \quad (26)$$

A (26) formulával előállított $\mathbf{W}(\mathbf{r}, s)$ kétváltozós függvény bármilyen $c_i = c_i(s)$ együttható rendszer esetében kielégíti a (24), (25) peremfeltételeket. A (23) differenciálegyenletbe helyettesítve, kapjuk a

$$\sum_{i=1}^{\infty} c_i(s) \varrho \boldsymbol{\varphi}_i(\mathbf{r}) = -\varrho s^2 F(s) \mathbf{u}_0(\mathbf{r}) + \varrho s \mathbf{a}(\mathbf{r}) + \varrho \mathbf{b}(\mathbf{r}) \quad (27)$$

egyenletet. A (27) egyenletből a $\bar{\boldsymbol{\varphi}}_i(\mathbf{r})$ sajátfüggvénnyel való átszorítás és integrálás után a $c_i(s)$ együtthatóra az alábbi kifejezést kapjuk:

$$c_i(s) = a_i s + b_i - d_i s^2 F(s), \quad (28)$$

ahol

$$a_i = \int_V \varrho \mathbf{a} \cdot \boldsymbol{\varphi}_i dV, \quad (29)$$

$$b_i = \int_V \varrho \mathbf{b} \cdot \boldsymbol{\varphi}_i dV, \quad (30)$$

$$d_i = \int_V \varrho \mathbf{u}_0 \cdot \boldsymbol{\varphi}_i dV. \quad (31)$$

A (22), (26), (28) egyenletek kombinálásával a következő eredményre jutunk:

$$\mathbf{U}(\mathbf{r}, s) = \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{a_i s}{\alpha_i^2 + s^2} + \frac{b_i}{\alpha_i^2 + s^2} + d_i \frac{\alpha_i^2 F(s)}{\alpha_i^2 + s^2} \right] \boldsymbol{\varphi}_i(\mathbf{r}). \quad (32)$$

A Laplace-féle integrál transzformáció jól ismert összefüggéseit alkalmazva az (1), (2), ... (5) egyenletek által kijelölt kerületérték feladat megoldását

$$\begin{aligned} \mathbf{u}(\mathbf{r}, t) = & \sum_{i=1}^{\infty} \left(a_i \cos \alpha_i t + \frac{b_i}{\alpha_i} \sin \alpha_i t \right) \boldsymbol{\varphi}_i(\mathbf{r}) + \\ & + \sum_{i=1}^{\infty} d_i \alpha_i \left(\int_0^t f(\tau) \sin \alpha_i(t - \tau) d\tau \right) (\boldsymbol{\varphi}_i(\mathbf{r})) \end{aligned} \quad (33)$$

alakban tudjuk megadni.

3. Egy alkalmazás

Következőkben hirtelen terhelés hatását vizsgáljuk. Legyen ennek megfelelően

$$\begin{aligned} f(t) &= 0 & t < 0, \\ f(t) &= 1 & t \geq 0. \end{aligned} \quad (34)$$

Legyen továbbá a $t = 0$ időpillanatban a vizsgált rugalmas test nyugalomban, vagyis legyen

$$\mathbf{a}(\mathbf{r}) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{b}(\mathbf{r}) = \mathbf{0}. \quad (35)$$

A (33) formula alkalmazásával a

$$\mathbf{u}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{u}_0(\mathbf{r}) - \sum_{i=1}^{\infty} d_i \cos \alpha_i t \boldsymbol{\varphi}_i(\mathbf{r}). \quad (36)$$

képletet írhatjuk.

A (36) egyenlethez következik, hogy

$$|\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)| \leq |\mathbf{u}_0(\mathbf{r})| + \sum_{i=1}^{\infty} |d_i \boldsymbol{\varphi}_i(\mathbf{r})| = 2 |\mathbf{u}_0(\mathbf{r})|. \quad (37)$$

A (37) egyenlőtlenségi relációból igen fontos eredmény olvasható ki: a hirtelen terhelés hatására kialakult elmozdulás vektor nagysága a rugalmas test egyetlen pontjában sem haladhatja meg az ugyanazon terhelés statikus felvitele által okozott elmozdulás vektor abszolút értékének kétszeresét.

Megjegyzendő, hogy egyszabadságfokú mechanikai rendszernél a kitérés bizonyos időpillanatokban el is éri a statikus terheléshez tartozó kitérés kétszeresét [3].

IRODALOM

1. Купразде В. Г.: Трёхмерные задачи математической теории упругости и термоупругости. Изд. Наука. Москва, 1976. стр 313–345.
2. NOWACKI, W.: Теория упругости. Изд. Москва, Мир. 1975. стр 549–554.
3. ПОНОМАРЬОВ, С. Д.: Szilárdsági számítások a Gépészetben. 6. kötet. Rezgések. Útések Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1966, 20–21. old.
4. GURTIN, M. E.: The Linear Theory of Elasticity. In: Handbuch der Physik. Vol. IVa/2. Springer, Berlin–Heidelberg–New York. 1972, p. 261–273.

Applying the Laplace Transformation to the Solution of the Dynamic Problems of the Theory of Elasticity. — A method based on the Laplace integral transformation is presented for the solution of the dynamic problems of the theory of elasticity. In the case of the example considered the time dependence of the volumic load and the surface load is of the same pattern.

Anwendung der Laplace-Transformation zur Lösung der dynamischen Aufgaben der Elastizitätslehre. — Eine auf der Laplaceschen Integraltransformation basierende Methode wird zur Lösung der dynamischen Probleme der Elastizitätslehre vorgeführt. Beim betrachteten Beispiel stimmen die Zeitabhängigkeit der Raumbelastung und der Flächenbelastung miteinander überein.

SZILÁRD SZEMCSE MOZGÁSTÖRVÉNYE CENTRIFUGÁLIS ERŐTÉR BEN A NEWTON-FÉLE KÖZEGELLENÁLLÁS ESETÉBEN

NIKODÉMUSZ ANTAL*

és

PETHÓ SZILVESZTER**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett: 1980. szeptember 12-én]

A tanulmányban a centrifugális erőterben a foronómiai függvények zárt formában találhatóak meg a Newton-féle közegellenállás érvényessége esetében. A zárt formában levezetett függvények közelítő jellegűek. A függvények alkalmazását számpélda magyarázza.

1. A szilárd szemcse foronómiai függvényei

Mivel a centrifugák igen nagy fordulatszámmal működnek, ezért már a 10–100 μm -es szemek is az ω szögsebesség nagyságától függően nagyon rövid idő alatt eléri azt a sebességet, amelynél már a Newton-féle közegellenállás érvényes. Ebben az esetben az 1. ábra értelmében az x nagyságú, m tömegű, v sebességű és δ sűrűségű szilárd szemcse mozgásának differenciálegyenlete az ω szögsebességű és γ sűrűségű közegben [1]

$$m \frac{dv}{dt} = m R \omega^2 \frac{\delta - \gamma}{\delta} - k x^2 v^2; \quad R_1 \leq R \leq R_2. \quad (1)$$

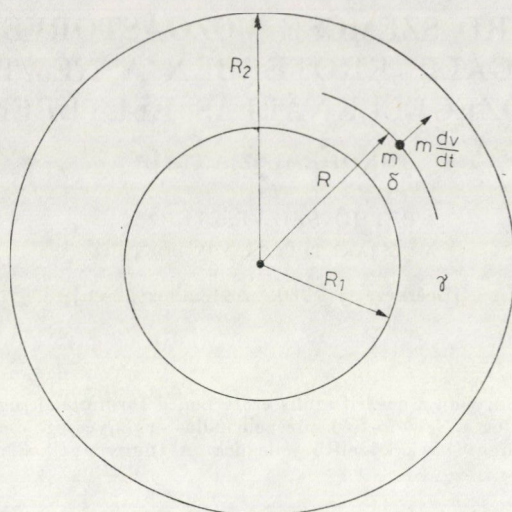
Az egyenletben az R sugár a szilárd szemcse pillanatnyi helyzetét rögzíti, így a centrifugális gyorsulás $R\omega^2$. A centrifúga belső sugara R_1 , a külső sugár pedig R_2 . k a c közegellenállási tényezővel arányos állandót jelent. Gömbalakú szemcse esetében

$$k = \frac{\pi c \gamma}{8g}. \quad (2)$$

A differenciálegyenlet bal oldalán a gyorsító erő, jobb oldalán a centrifugális és felhajtó erő különbsége, továbbá negatív előjellel a közegellenállás szerepel.

* Dr. Nikodémusz Antal, NME Matematikai Intézet, Miskolc Egyetemváros.

** Dr. Pethó Szilveszter, NME Ásványelőkészítési Tanszék Miskolc, Egyetemváros.



1. ábra

A megoldás érdekében az egyenletet $dR/dt = v$ figyelembevételével célszerű differenciálni, valamint az m -mel (gömb esetén $m = x^3\pi\delta/(6g)$ -vel) való osztást elvégezni [1]:

$$v'' = \omega^2 \frac{\delta - \gamma}{\delta} v - 2 \frac{kx^2}{m} v v'. \quad (3)$$

Az állandókat összevonva

$$B = \omega^2 \frac{\delta - \gamma}{\delta} \quad (4)$$

és

$$A = 2 \frac{kx^2}{m}, \quad (5)$$

ill. gömbalakú szem esetében

$$A = \frac{3c\gamma}{2x\delta}. \quad (6)$$

Ezek figyelembevételével a differenciálegyenlet

$$v'' + Av v' - Bv = 0 \quad (7)$$

alakot ölt fel. Ezt a másodrendű differenciálegyenletet új változó bevezetésével oldjuk meg.

Mivel v'' a $v' = a$ gyorsulás differenciálhányadosa, ezért

$$v'' = \frac{da}{dt} = \frac{da}{dv} \frac{dv}{dt} = \frac{da}{dv} a. \quad (8)$$

Ennek behelyettesítésével az előbbi, a (7) differenciálegyenlet elsőrendűvé alakítható és a változók is szétválaszthatók:

$$\int \frac{a da}{B - Aa} = \int v dv. \quad (9)$$

A megoldás

$$v^2 = K - 2 \frac{a}{A} - \frac{2B}{A^2} \ln |B - Aa|. \quad (10)$$

$t = 0$ esetében a v sebesség 0 és az a kezdőgyorsulás $R_1 B$, ezért a K integrálási állandó

$$K = 2 \frac{B}{A} \left[R_1 + \frac{1}{A} \ln |B / ((AR_1) - 1)| \right] \quad (11)$$

és

$$v^2 = \frac{2}{A} \left[(R_1 B - a) + \frac{B}{A} \ln \left| \frac{B (AR_1 - 1)}{Aa - B} \right| \right]. \quad (12)$$

Ez az egyenlet a pillanatnyi sebesség és gyorsulás közötti kapcsolatot adja meg. A megtett út és a gyorsulás közötti összefüggés megkeresése érdekében az (1) differenciálegyenletet az állandók figyelembevételével

$$v' = a = BR - \frac{A}{2} v^2 \quad (13)$$

szerint célszerű átalakítani és azt (12)-be helyettesíteni.

A helyettesítés a következő alakban történik:

$$v^2 = \frac{2}{A} \left(BR_1 - BR + \frac{A}{2} v^2 + \frac{B}{A} \ln \left| \frac{AR_1 - 1}{\frac{A}{B} a - 1} \right| \right) \quad (14)$$

Ezután az egyenlet jobb oldalán a $2/A$ -vel való szorzást elvégezve, v^2 -tel egyszerűsíteni lehet. Végül a gyorsulás függvényében az $R - R_1 = s$ út nagysága a következő lesz:

$$R - R_1 = s = \frac{1}{A} \ln \frac{B(AR_1 - 1)}{Aa - B}. \quad (15)$$

A gyorsulás és az idő közötti kapcsolat megkeresése a (10) egyenlet differenciálásával történik:

$$v dv = \left[-\frac{1}{A} + \frac{B}{A(B - Aa)} \right] da, \quad (16)$$

és

$$va dt = \frac{a}{B - Aa} da. \quad (17)$$

Majd a változók szétválasztásával

$$dt = \frac{da}{v(B - Aa)}. \quad (18)$$

Ide a (12) alatti v sebességet behelyettesítve

$$dt = \frac{da}{(B - Aa) \left[\frac{2}{A} (R_1 B - a) - \frac{2B}{A^2} \ln \left| \frac{Aa - B}{B(AR_1 - 1)} \right| \right]^{1/2}} \quad (19)$$

E differenciálegyenlet megoldása érdekében a pillanatnyi gyorsulást célszerű az $R_1 B$ kezdőgyorsulás segítségével a következőképpen megadni:

$$a = R_1 B + h. \quad (20)$$

(Az egyenletben h negatív számot jelent.) A behelyettesítést csak az \ln -es tagban célszerű elvégezni:

$$\ln \left| \frac{Aa - B}{B(AR_1 - 1)} \right| = \ln \left| 1 + \frac{Ah}{B(AR_1 - 1)} \right|. \quad (21)$$

Az utóbbi függvényt sorbafejtve

$$\ln \left| 1 + \frac{Ah}{B(AR_1 - 1)} \right| = \frac{Ah}{B(AR_1 - 1)} - \frac{1}{2} \left[\frac{Ah}{B(AR_1 - 1)} \right]^2 + \dots \quad (22)$$

Csak az első tagot véve figyelembe a (18) differenciálegyenletet alakja

$$\int_0^t dt \approx \int_{R_1 B}^a \frac{da}{(B - Aa) \left[\frac{2R_1 (R_1 B - a)}{AR_1 - 1} \right]^{1/2}}. \quad (23)$$

A megoldás érdekében vezessük be az u változót a következőképpen:

$$u^2 = \frac{2R_1}{AR_1 - 1} (R_1 B - a). \quad (24)$$

Az új változó bevezetésével a differenciálegyenlet

$$t = \frac{1}{R_1} \int \frac{du}{B - \frac{A}{2R_1} u^2} \quad (25)$$

szerint alakítható át. A differenciálegyenlet az

$$\int \frac{du}{C - Du^2} = \frac{1}{2\sqrt{CD}} \ln \left| \frac{\sqrt{CD} + Du}{\sqrt{CD} - Du} \right| + C = \frac{1}{\sqrt{CD}} \operatorname{Ar} \tanh \sqrt{\frac{D}{C}} u, \text{ ha } CD > 0$$

integrálási képlet segítségével oldható meg. C és D állandókat jelentenek és a képlet alkalmazásának feltétele $CD = AB/(2R_1) > 0$, teljesül. A megoldás

$$t = \sqrt{\frac{2}{ABR_1}} \left[\operatorname{Ar} \tanh \sqrt{\frac{A(R_1 B - a)}{B(AR_1 - 1)}} \right]_{R_1 B}^a = \sqrt{\frac{2}{ABR_1}} \operatorname{Ar} \tanh \sqrt{\frac{A(R_1 B - a)}{B(AR_1 - 1)}} \quad (26)$$

Ebből az egyenlethől az a gyorsulás a t idő függvényében:

$$a = BR_1 - \frac{B}{A} (AR_1 - 1) \tanh^2 \sqrt{\frac{1}{2} ABR_1} t. \quad (27)$$

Ennek felhasználásával (12) és (15) figyelembevételével a v sebesség és az s út idő függvényében szintén kifejezhető:

$$v^2 = \frac{2B}{A^2} \left[(AR_1 - 1) \tanh^2 \sqrt{\frac{1}{2} ABR_1} t + \ln \cosh^2 \sqrt{\frac{1}{2} ABR_1} t \right], \quad (28)$$

és

$$s = R - R_1 = \frac{1}{A} \ln \cosh^2 \sqrt{\frac{1}{2} ABR_1} t. \quad (29)$$

2. A foronómiai függvények elemzése

A (12) egyenlet a következőképpen alakítható át: ([1]):

$$a = \frac{B}{A} \{1 + (AR_1 - 1) \exp [-A(R - R_1)]\}. \quad (30)$$

Ebből az egyenletből következik, hogy néhány cm megtétele után a szemcse gyakorlatilag állandó gyorsulású lesz, mivel $A > 1$. Ez az állandó gyorsulás [1]

$$a = \frac{B}{A}. \quad (31)$$

Ugyanez gömbalakú szemcse esetében (4) és (6) felhasználásával úgy alakul:

$$a = \frac{1}{2} \frac{\omega^2 v_0^2}{g}. \quad (32)$$

Itt v_0 süllyedési végsebességet jelent;

$$r_0 = \sqrt{\frac{4g}{3c}} \sqrt{\frac{x(\delta - \gamma)}{\gamma}}. \quad (33)$$

Ez a állandó gyorsulás a közelítő jellegű (27) függvény segítségével is bizonyítható. Ugyanis $\tanh^2/(0,5 ABR_1)^{1/2} t$ értéke ezred, esetleg század másodperc elteltével gyakorlatilag 1. Ugyanez a függvény $t = 0$ -nál a BR_1 kezdőgyorsulást adja.

A (22) sorbafejtéssel, illetve a (23) egyenlettel megadott közelítés H hibája

$$H = \frac{1}{2} \left[\frac{A(R_1 B - a)}{B(AR_1 - 1)} \right]^2, \quad (34)$$

mivel csak a sorbafejtés első tagját vettük figyelembe.

3. Gyakorlati alkalmazás

A foronómiai függvényekkel való számolást $x = 0,02$ cm, $\delta = 7,5$ g/cm³ sűrűségű szemcsével végeztük el. A centrifúga belső sugara $R_1 = 50$ cm, ω szögsebessége 100/s, a közeg víz, tehát $\gamma = \text{g/cm}^3$. Az A és B állandók értékei 4,5 és 2666,6, a kezdőgyorsulás nagysága $R_1 B = 4,3 \cdot 10^5$ cm/s², a B/A állandó gyorsulásé 1925,925 cm/s².

Ezekkel az adatokkal a (22) sorbafejtés, ill. a (23) közelítés jóságát számszerűleg is ellenőriztük. Az 1. táblázatban a pontos értéket adó (19) sorszámú

$$(B - Aa)^{-1} \left[\frac{2}{A} (R_1 B - a) - \frac{2B}{A^2} \ln \left| \frac{Aa - B}{B(AR_1 - 1)} \right| \right]^{-1/2} \quad (35)$$

1. táblázat

(19) sorszámu függvénynek és közelítő függvényeinek néhány számszerű értéke különböző gyorsulások esetében

a	$(B - Aa)^{-1} \left[\frac{A}{2} (R_1 B - a) - \frac{2B}{A^2} \ln \left| \frac{Aa - B}{B(AR_1 - 1)} \right| \right]^{-\frac{1}{2}}$	$(B - Aa)^{-1} \left[\frac{2R_1}{AR_1 - 1} (R_1 B - a) \right]^{-\frac{1}{2}}$	$(B - Aa)^{-1} \left[\frac{2R_1}{AR_1 - 1} (R_1 B - a) + \frac{1}{B} \left(\frac{R_1 B - a}{AR_1 - 1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$
$R_1 B$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
$\frac{3}{4} R_1 B$	$-0,31267 \cdot 10^{-8}$	$-0,31277 \cdot 10^{-8}$	$-0,31269 \cdot 10^{-8}$
$\frac{1}{4} R_1 B$	$-0,54723 \cdot 10^{-8}$	$-0,54827 \cdot 10^{-8}$	$-0,54722 \cdot 10^{-8}$
$\frac{1}{16} R_1 B$	$-2,06511 \cdot 10^{-8}$	$-2,07419 \cdot 10^{-8}$	$-2,07202 \cdot 10^{-8}$
$8 B/A$	$-3,79447 \cdot 10^{-8}$	$-3,81614 \cdot 10^{-8}$	$-3,81204 \cdot 10^{-8}$
$2 B/A$	$-26,09518 \cdot 10^{-8}$	$-26,35116 \cdot 10^{-8}$	$-26,32206 \cdot 10^{-8}$
$3 B/(2A)$	$-52,05457 \cdot 10^{-8}$	$-52,64333 \cdot 10^{-8}$	$-52,58507 \cdot 10^{-8}$
B/A	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$

valamint az ennek közelítésére alkalmazott

$$(B - Aa)^{-1} \left[\frac{2R_1}{AR_1 - 1} (R_1 B - a) \right]^{-1/2} \quad (36)$$

(23) sorszámu függvény, továbbá a

$$(B - Aa)^{-1} \left[\frac{2R_1}{AR_1 - 1} (R_1 B - a) + \frac{1}{B} \left(\frac{R_1 B - a}{AR_1 - 1} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (37)$$

egyenlet számszerű értékei találhatók meg $a = R_1 B$ és ennek tört részei továbbá $a = B/A$ és ennél nagyobb gyorsulások esetében. Az utóbbi (37) egyenlet akkor érvényes, ha a (22) sorbafejtés első két tagját hagyjuk meg.

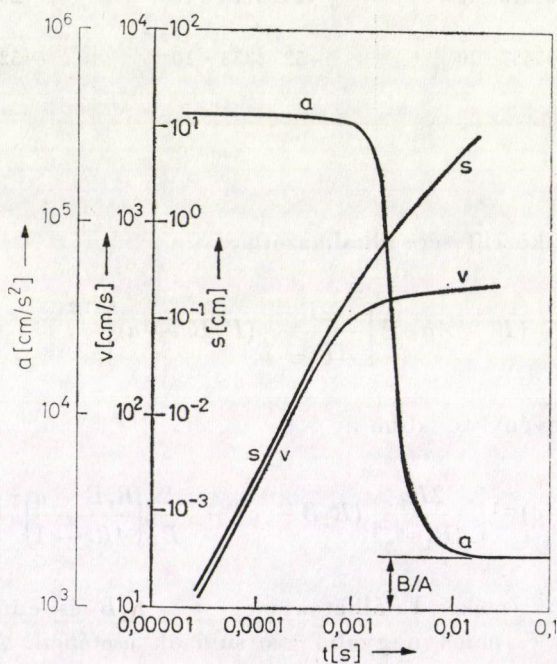
$a = R_1 B$ és $a = B/A$ esetében mindhárom függvény számszerű értéke $-\infty$. $R_1 B$ törtrészeivel való számolás esetében a (35) és (36) között a különbség igen kicsiny. A két függvény számszerű értékében a legnagyobb különbség $a = 3B/2A$ -nál mutatkozik és ekkor a (37) függvény sem ad lényegesen jobb közelítést.

2. táblázat

Foronómiai függvények számszerű értékei

Idő t , sec	Gyorsulás a , cm/sec ²	Sebesség v , cm/sec	Út s , cm
0,00003	432954,99	12,9962	0,0001950
0,0001	429154,30	43,1935	0,002163
0,0003	397586,61	126,3387	0,01922
0,001	186598,56	332,2441	0,1885
0,003	6514,1037	439,9848	1,0097
0,01	1925,9305	455,4712	4,0805
0,03	1925,9259	491,1843	12,858

A 2. táblázatban az első oszlopban megadott időknél a gyorsulás, a sebesség és a megtett út számszerű értékeit lehet megtalálni. Kb. $t = 0,01$ s idő elteltével a gyorsulás $a = B/A$ -val állandó. A 2. ábrán a táblázat értékeivel megrajzolt foronómiai függvények találhatók meg.



2. ábra

IRODALOM

- [1] PETHŐ Sz.: Szilárd szemcsék mozgástörvényei centrifugális erőterben. Megjelenés alatt az *Acta Technica*-ban.

Law of Motion of Particles in a Centrifugal Field in Case of Newtonian Medium-resistance.

— In the paper the phoronomic functions of the centrifugal field of closed form are treated in case of the Newtonian medium-resistance. The functions deduced in closed form are of approximate character. The application in practice of the functions is demonstrated by a numerical example.

Bewegungsgesetz der festen Partikeln im zentrifugalen Kraftfeld im Fall der Newtonschen Strömungswiderstand. — In der Abhandlung sind die phoronomischen Funktionen des zentrifugalen Kraftfelds für den Fall der Gültigkeit des Strömungswiderstands in einer geschlossenen Form angegeben. Die in geschlossener Form abgeleiteten Funktionen sind nur Näherungslösungen. Die Anwendung dieser Funktionen ist durch ein numerisches Beispiel demonstriert.

KIEGÉSZÍTÉSEK A TREFFTZ—FICHERA MÓDSZER REZGÉSPROBLÉMÁKRA TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSÁHOZ

TÓTH GYÖRGY*

[Beérkezett: 1980. december 20-án]

Ismeretes, hogy a Trefftz—Fichera módszer hatékony eszköz szigorúan pozitív, lineáris integráloperátorokkal leírható kontinuumrezgési sajátértékfeladat sajátértékeinek javítható becslésére. Legutóbb is bemutatásra került ezen módszer alkalmazása változó keresztmetszetű rúd hajlítórezgési sajátfrekvenciáinak megközelítésére. A műszaki gyakorlat sok esetében nem lehetséges a szigorú pozitivitás betartása. Ez szemléletesen szólva azt jelenti, hogy a kényszer — illetve peremfeltételek ún. merevtest-szerű mozgást is lehetővé tesznek. Ez az eset áll fenn például repülő objektumokkal, vagy bizonyos mechanizmusokkal kapcsolatban. A fent említett módszer megfelelő kiegészítéssel azonban ilyenkor is alkalmazható. A megoldás kulcsát a feladathoz rendelhető ún. általánosított Green-függvény előállítása jelenti. Jelen dolgozat egydimenziós feladat kapcsán mutatja be a megoldás menetét.

Bevezetés

A tanulmánynak az a célja, hogy választ adjon a címben szereplő módszer alkalmazása során felmerülő, a műszaki gyakorlatban eddig alig érintett kérdésekre, és ezzel bővítse a felhasználás területét.

A kontinuumnak modellezett rúd rezgései ismert egyszerűsítő feltételezések mellett (lásd pl. [7]) lineáris differenciáloperátorhoz rendelt peremérték-probléma alakjában fogalmazhatók meg. Sok esetben a feladat olyan, hogy sajátértékei számára a Poincaré—Rayleigh—Ritz módszerrel felső korlátok számíthatók.

Számos esetben lehetőségünk van a peremértékproblémát a differenciáloperátor inverzének megszerkesztése útján integráloperátorhoz rendelt olyan peremértékproblémára visszavezetni, amelynek megoldásai és sajátértékei a kiindulóéval *közösek*.

Ha az így nyert integráloperátor valós, szimmetrikus magú, pozitív szemidefinit és teljesen folytonos operátor, akkor a sajátértékeihez a Trefftz—Fichera eljárás segítségével — felhasználva az ismert felső korlátokat — alsó korlátokat számíthatunk. A felső korlátokat javítva az így nyert alsó korlátok javulnak.

* Tóth György 1016 Budapest, Gellérthegy u. 20—22.

A Trefftz—Fichera módszer alkalmazásának egyik akadályát az jelenti, hogy a differenciáloperátor inverzét gyakran nem lehet explicit módon előállítani.

A kontinuum rúdrezgésekkel kapcsolatban a [2] tanulmány ismertette speciális szigorúan pozitív operátorok esetében ennek a problémának megoldását. Jelen dolgozat célja, hogy a megoldást pozitív szemidefinit operátorok esetére is bemutassa.

Szemidefinit operátorok Green-függvényei

Tegyük fel, hogy a vizsgált kontinuus rúdmodell rezgéseit a

$$D v(x) = \beta(x) \quad x \in [0,1] \quad (1)$$

alakú differenciál egyenlet írja le a hozzá rendelt peremfeltéti rendszerrel együtt. D legyen lineáris, s az adott peremfeltételek esetén önadjungált differenciáloperátor. Az (1) probléma v megoldásai és β legyenek a valós L^2 térben értelmezve és legyenek elegendően sokszor differenciálhatók.

Tételezzük fel, hogy előállítható D inverze, továbbá, hogy az inverz ismeretében

$$D D^{-1} v(x) = v(x) = \int_0^1 G(x, t) v(t) dt$$

alapján (1)-et a

$$\mathcal{K}v = \int_0^1 G(x, t) \beta(t) dt \quad (2)$$

integráloperátorhoz rendelt feladatra vezetjük vissza, mégpedig úgy, hogy a megoldások és a peremfeltételek, valamint az operátor értelmezési tartománya ne változzék.

Ha a D operátor önadjungált, akkor magfüggvénye szimmetrikus [3], vagy transzformáció útján azzá tehető [2]. Így, ha \mathcal{K} valós, szimmetrikus és teljesen folytonos, akkor a hozzá rendelt (2) probléma sajátértékeinek alulról történő közelítésére használhatjuk a Trefftz—Fichera eljárást.

A vizsgálandó rúdrezgések esetében

$$\beta(x) = \alpha^2 q(x) v(x) + g(x)$$

alakú, ahol α a rezgés körfrekvenciáit, $v(x)$ az amplitudó eloszlás függvényét, $q(x) > 0$ a sűrűség eloszlás függvényét, $g(x)$ pedig az α körfrekvenciájú szinuszos gerjesztés amplitudó eloszlás függvényét jelöli. A gerjesztetlen ($g(x) = 0$) esetben $\lambda = \alpha^2$ az (1), illetve (2) probléma sajátértéke.

A (2) integráloperátor magfüggvénye ekkor a

$$\mathfrak{K}v = \int_0^1 K(x, t) v(t) dt$$

alapján

$$K(x, t) = q(t) G(x, t),$$

ahol $G(x, t)$ a permfeltételekkel együtt értelmezett D operátor inverzének a magfüggvénye, szokásosabb elnevezés szerint a D -hez rendelt Green függvény. A most tárgyalandó szemidefinit esetet az jellemzi, hogy a $\lambda = 0$ is sajátértéke az (1) problémának, vagyis a $D v(x) \equiv 0$ *homogén egyenletnek* van nem azonosan zérus $v^i(x)$ megoldása (fizikailag lehetséges a merevtestszerű mozgás). Ekkor (1)-nek általában nincs megoldása, és sem a szokásos értelemben vett Green-függvény, sem az inverz operátor nem létezik. Lehetőség van azonban az ún. általánosított Green-függvény meghatározására és alkalmazására az alábbiak szerint. Az (1) feladat megoldásainak teljes ortonormált függvény rendszere által adott teret a homogén egyenlet megoldásaira ortogonális altérre szűkítve (ezt a továbbiakban sajáttérnek nevezzük) lehetséges az új értelmezési tartományon működő D operátor inverzének megszerkesztése. E szemidefinit esetben az ún. Fredholm-féle alternatíva tétel [1] alapján (1) megoldásának egzisztenciáját az

$$\int_0^1 \beta(x) v^i(x) dx = 0 \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (3)$$

kompatibilitási egyenlettel megkötött β esetre biztosíthatjuk. A megoldás unicitását a

$$\int_0^1 v(x) v^i(x) dx = 0 \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (4)$$

egyenletekkel biztosítjuk. r a $\lambda = 0$ sajátérték multiplicitása.

A (3), (4) megkötések betartása esetén az általánosított Green-függvényt [1] alapján a

$$D G(x, t) = \delta(x - t) - \sum_{i=1}^r \varrho_i v^i(x) \quad (5)$$

egyenlet definiálja. Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy a $v_i(x)$ -ek ortonormáltak, azaz:

$$\int_0^1 v^i(x) v^k(x) dx = \delta_{ik},$$

ahol δ_{ik} a Kronecker-delta; az (5)-ben szereplő $\delta(x-t)$ a Dirac-féle disztribúció. A ϱ_i -ket meghatározhatjuk, ha (5)-öt a $D G(x, t) = \tilde{\beta}(x, t)$ alakba írjuk és [3]

alapján előírjuk a $G(x, t)$ -re nézve az (1)-hez tartozó változatlan peremfeltételeket. Ekkor a (4) kompatibilitási feltételek szerint

$$\int_0^1 \tilde{\beta}(x, t) v^k(x) dx = 0, \quad k = 1, 2, \dots, r$$

azaz

$$\int_0^1 \left[\delta(x - t) v^k(x) - \sum_{i=1}^r \varrho_i v^i(x) v^k(x) \right] dx = 0.$$

Innen a

$$\varrho_k = \int_0^1 \delta(x - t) v^k(x) dx = v^k(t)$$

egyenletet nyerjük. Ezek után az (5) egyenlet végleges alakja a

$$D G(x, t) = \delta(x - t) - \sum_{i=1}^r v^i(x) v^i(t) \quad (6)$$

differentiál egyenlet. Ha D önadjungált, akkor Green-függvénye szimmetrikus, azaz $G(x, t) = G(t, x)$. A \mathfrak{K} operátor említett tulajdonságai miatt a Hilbert–Schmidt-féle sorfejtés értelmében a

$$K(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_i} v_i(x) v_i(t) \quad (7)$$

végtelen sor, (tekintve, hogy a sajátterre korlátozott D operátor és a hozzárendelt \mathfrak{K} operátor pozitív definit, így érvényes Mercer tétele [8]) egyenletesen konvergens.

Feltételezve, hogy a v_i -k ortonormáltak, a [2] szerinti

$$|\mathfrak{B}_1(\mathfrak{K})| = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_i} = \int_0^1 K(x, x) dx$$

kifejezés ([5] alapján a \mathfrak{K} operátor ortogonális invariánsa) felhasználásával juthatunk a Trefftz–Fichera-féle formulához [2], amely a λ sajátértékek közvetlen becslését teszi lehetővé. [1] alapján lehetőségünk van arra is, hogy nem β -t kötjük meg a feladat megoldhatósága érdekében, hanem D -t változtatjuk meg D^* -á az alábbiak szerint:

$$D^* v(x) = D v(x) + \varepsilon v(x) = \beta(x). \quad (8)$$

Itt ε tetszőlegesen kicsiny valós szám. Ez a D^* már a teljes L^2 téren értelmezhető, és ennek megszerkeszthető a közönséges értelemben vett Green-függvénye. Az új sajátérték probléma, gerjesztetlen rezgéseket vizsgálva:

$$D v(x) + \varepsilon v(x) = \lambda' q(x) v(x).$$

Sajátfüggvényei (1)-ével azonosak, csupán a sajátértékei változnak: $\lambda'_i = \lambda_i + \varepsilon$. Mint látjuk, a $\lambda = 0$ sajátérték helyébe $\lambda = \varepsilon$ lép. (8)-hoz megszerkesztve a (2)-nek megfelelő integrál operátort, (7) új alakja

$$K^*(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{v_i(x) v_i(t)}{\lambda_i + \varepsilon} + \sum_{j=1}^r \frac{v^j(x) v^j(t)}{\varepsilon} \quad (9)$$

lesz. A D^* operátor Green-függvényét definiáló egyenlet

$$D G^*(x, t) + \varepsilon G^*(x, t) = \delta(x - t). \quad (10)$$

Igen érdekes, hogy (10) megoldása útján formálisan megkaphatjuk a D -hez tartozó általánosított Green-függvényt az alábbiak szerint. Ha (10)-et sikerül megoldani (ami változó együtthatós D -t feltételezve nehézségekbe ütközhet) és a kapott megoldásnak képezzük az v szerinti McLaurin-sorát, az minden esetben a következő alakú lesz:

$$G^*(x, t) = g_{-1}(x, t) \varepsilon^{-1} + g_0(x, t) + g_1(x, t) \varepsilon + \dots$$

A $g_0(x, t)$ függvény ekkor minden esetben (Lásd [1]) éppen az általánosított Green-függvény.

Alkalmazások

1. A [2]-ben részletesen tárgyalt változó keresztmetszetű rúd szabad hajlító rezgéseit a

$$D v(x) = \frac{d^2}{dx^2} \left(p(x) \frac{d^2}{dx^2} v(x) \right) = \lambda q(x) v(x) \quad (11)$$

operátor egyenlet írja le. A $p(x)$ és $q(x)$ pozitív függvények a $[0, 1]$ intervallumon. Teljesen hasonlóan írhatók le például a rúddal modellezett vitorlázó repülőgép szárnyainak hajlító rezgései [4]; ekkor $p(x) = h^4(x)$ és $q(x) = h^2(x)$.

A $h(x)$ függvény a repülőgépszárny alakját megadó húr hossz függvény. Repülőgépszárny esetében a peremfeltételi rendszer:

$$v''(0) = v''(1) = v'''(0) = v'''(1) = 0,$$

ahol a vessző x szerinti deriválást jelent. Az így definiált szabad rúd végezhet merev test szerű mozgást is, hiszen nem szerepelnek geometriai megkötések a peremfeltételek között. Ez azt is jelenti, hogy a (11) egyenletnek a $\lambda = 0$ is sajátértéke. A $D v(x) = 0$ homogén egyenletnek megoldásai a

$$v^1(x) = 1 \text{ és } v^2(x) = \sqrt{3}(2x - 1)$$

ortonormált függvények. A (11) alatti D operátorhoz rendelt általánosított Green-függvényt jelen esetben célszerű (6) alapján meghatározni. A definiáló egyenlet tehát:

$$(p(x) G''(x, t))'' = \delta(x - t) - 1 - 3(2x - 1)(2t - 1).$$

Elegendően sokszor integrálva x szerint, az integrálást disztribúció értelemben általánosítva, tehát figyelembe véve a pl. [2]-ben összefoglalt disztribúció elméleti alapfogalmakat, azt kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} G(x, t) = & H(x - t) \int_t^x \int_t^v \frac{(s - t) ds dv}{p(s)} + (1 - 2t) \int_0^x \int_0^v \frac{s^3 ds dv}{p(s)} + \\ & + (3t - 2) \int_0^x \int_0^v \frac{s^2 ds dv}{p(s)} + \alpha_1(t) \int_0^x \int_0^v \frac{s ds dv}{p(s)} + \\ & + \alpha_2(t) \int_0^x \int_0^v \frac{ds dv}{p(s)} + \alpha_3(t)x + \alpha_4(t). \end{aligned} \quad (12)$$

A $H(x - t)$ itt a Heaviside-féle disztribúció, $\alpha_i(t)$ -k pedig ismeretlen függvényei t -nek. A peremfeltételi rendszerből valamint [2]-ből következik, hogy

$$G''(0, t) = G''(1, t) = G'''(0, t) = G'''(1, t) = 0.$$

Közvetlenül adódik ezek után, hogy $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$. A kompatibilitási feltételek (3), valamint (4) alapján:

$$\int_0^1 G(x, t) dx = 0, \quad (13)$$

$$\int_0^1 G(x, t) (2x - 1) dx = 0. \quad (14)$$

Elvégezve az integrálást, az

$$A(t) + B(t) + C(t) + \frac{\alpha_3(t)}{2} + \alpha_4(t) = 0, \quad (15a)$$

$$D(t) + E(t) + F(t) + \frac{\alpha_3(t)}{6} = 0 \quad (15b)$$

egyenleteket nyerjük, ahol

$$A(t) = H(1 - t) \int_t^1 \int_t^z \int_t^v \frac{(s - t) ds dv dz}{p(s)},$$

$$\begin{aligned}
 B(t) &= (1 - 2t) \int_0^1 \int_0^z \int_0^v \frac{s^3 ds dv dz}{p(s)}, \\
 C(t) &= (3t - 2) \int_0^1 \int_0^z \int_0^v \frac{s^2 ds dv dz}{p(s)}, \\
 D(t) &= H(1 - t) \int_t^1 (2z - 1) \int_t^z \int_t^v \frac{(s - t) ds dv dz}{p(s)}, \\
 E(t) &= (1 - 2t) \int_0^1 (2z - 1) \int_0^z \int_0^v \frac{s^3 ds dv dz}{p(s)}, \\
 F(t) &= (3t - 2) \int_0^1 (2z - 1) \int_0^z \int_0^v \frac{s^2 ds dv dz}{p(s)}.
 \end{aligned} \tag{15c}$$

A (15a) és (15b) egyenletekből α_3 és α_4 meghatározható:

$$\begin{aligned}
 \alpha_3(t) &= -6(D(t) + E(t) + F(t)), \\
 \alpha_4(t) &= 3(D(t) + E(t) + F(t)) - (A(t) + B(t) + C(t)).
 \end{aligned}$$

A Trefftz—Fichera módszerben felhasználásra kerülő ortogonális invariáns:

$$\mathfrak{H}_1(\mathcal{H}) = \int_0^1 q(x) G(x, x) dx.$$

(12) alapján a $G(x, x)$ függvény explicit előállítása lehetséges az α_3 és α_4 ismeretében:

$$\begin{aligned}
 G(x, x) &= (1 - 2x) \int_0^x \int_0^v \frac{s^3 ds dv}{p(s)} + (3x - 2) \int_0^x \int_0^v \frac{s^2 ds dv}{p(s)} + \\
 &\quad + \alpha_3(x) x + \alpha_4(x).
 \end{aligned}$$

Megjegyezzük, hogy [1], illetve [3] alapján az általánosított Green-függvény szimmetrikus, azaz $G(x, t) = G(t, x)$.

2. Az általánosított Green-függvény megszerkesztése igen szemléletes a $p \equiv 1$ esetben, azaz állandó együtthatós differenciáloperátor esetén. A következőkben ezt az esetet vizsgáljuk részletesebben. A kiinduló egyenlet legyen:

$$v^{IV}(x) = \beta(x).$$

A homogén egyenlet ortonormált megoldásai:

$$v^1(x) = 1, \quad v^2(x) = \sqrt{3} (2x - 1).$$

A Green-függvény megszerkesztéséhez szükséges kiinduló egyenlet

$$G^{IV}(x, t) = \delta(x - t) - 1 - 3(2x - 1)(2t - 1),$$

ahonnan elegendően sokszor integrálva azt kapjuk, hogy

$$G(x, t) = H(x, t) \frac{(x - t)^3}{6} - \frac{x^4}{6} - \frac{x^5 t}{10} + \frac{x^4 t}{4} + \frac{x^5}{20} + \\ + \alpha_1 \frac{x^3}{6} + \alpha_2 \frac{x^2}{2} + \alpha_3 x + \alpha_4.$$

Ha a peremfeltételek

$$v''(0) = v''(1) = v'''(0) = v'''(1) = 0,$$

akkor a

$$G''(0, t) = 0 \quad \text{és} \quad G'''(0, t) = 0$$

egyenletekből $\alpha_1 = 0$ és $\alpha_2 = 0$ következik.

A kompatibilitási feltételek:

$$-\frac{(1-t)^4}{24} - \frac{1}{40} + \frac{t}{30} + \frac{\alpha_3}{2} + \alpha_4 = 0 \quad (16)$$

és a

$$-\frac{(1-t)^5}{60} + \frac{(1-t)^4}{24} - \frac{41}{2520} + \frac{9t}{420} + \frac{\alpha_3}{6} = 0. \quad (17)$$

(16) és (17) megoldásai pedig az

$$\alpha_3(t) = \frac{(1-t)^5}{10} - \frac{(1-t)^4}{4} - \frac{9t}{70} + \frac{41}{420}, \\ \alpha_4(t) = -\frac{(1-t)^5}{20} + \frac{(1-t)^4}{12} + \frac{13t}{420} - \frac{1}{42}$$

függvények. A szimmetria tulajdonság viszonylag könnyen eldönthető. Evégett hasonlítsuk össze a

$$G(x, t) = -\frac{x^4}{6} - \frac{x^5 t}{10} + \frac{x^4 t}{4} + \frac{x^5}{20} + \frac{(1-t)^5}{10} x - \\ - \frac{(1-t)^4}{4} x - \frac{9tx}{70} + \frac{41}{420} x - \frac{(1-t)^5}{20} + \frac{(1-t)^4}{12} - \frac{1}{42} + \frac{13t}{420},$$

valamint a

$$G(t, x) = \frac{t(t-x)^3}{6} - \frac{t^4}{6} + \frac{t^5 x}{10} + \frac{t^4 x}{4} + \frac{t^5}{20} + \frac{(1-t)^5 t}{10} - \\ - \frac{(1-t)^4 t}{4} + \frac{41t}{420} - \frac{9xt}{70} - \frac{(1-x)^5}{20} + \frac{(1-x)^4}{12} - \frac{1}{42} + \frac{13x}{420}$$

függvényeket. Felbontva a zárójeles kifejezéseket, és az azonos tagokat összevonva, $G(x, t) = G(t, x)$ adódik. Az ortogonális invariánsra viszont az

$$\mathfrak{I}(D^{-1}) = \int_0^1 G(x, x) dx = \frac{1}{420}$$

értéket kapjuk. Tudjuk, hogy a

$$v^{IV}(x) = \beta(x) = \lambda v(x)$$

egyenletnek a

$$v''(0) = v''(1) = v'''(0) = v'''(1) = 0 \quad (18)$$

és a

$$v(0) = v'(0) = v(1) = v'(1) = 0 \quad (19)$$

peremfeltételeknek megfelelő megoldásai megegyeznek, és mindkét esetben azonosak a sajátértékek is, amennyiben a (18) esetben eltekintünk a kétszeres multiplicitású $\lambda = 0$ zérus sajátértéktől. Így kell, hogy a két feladat ortogonális invariánsa azonos legyen. A (19) feltételeknek eleget tevő Green-függvény [6] alapján:

$$G(x, t) = \frac{(x-t)^3}{6} H(x-t) + \frac{x^3}{6} (2(1-t)^3 - 3(1-t)^2) + \\ + \frac{x^2}{2} ((1-t)^2 - (1-t)^3).$$

Az ortogonális invariáns (19) esetben valóban megegyezik a (18) esetben az általánosított Green-függvény segítségével számolttal.

3. Kontinuus rudak torziós és longitudinális rezgéseit bizonyos egyszerűsítő feltételezésekkel a

$$-(p(x) v'(x))' = \beta(x) \quad (20)$$

differenciálegyenlet írja le. Gőzturbina — generátor tengelyek torziós szabad lengéseihez hasonló egyenlet rendelhető, ilyenkor $p(x)$ a csavaró merevség pozitív függvénye, valamint a $\beta(x) = \lambda q(x) v(x)$ -ben szereplő $q(x)$ a rúdkereszt-

metszetnek a csavarás tengelyére vonatkozó másodrendű tehetetlenségi nyomaték eloszlás-függvénye. A peremfeltételek:

$$v'(0) = v'(1) = 0.$$

A $-(pv')' = 0$ homogén egyenlet nem triviális megoldása $v = 1$. Segítségével a (6)-nak megfelelő egyenlet

$$-(p(x)G'(x, t))' = \delta(x - t) - 1.$$

Innen

$$G(x, t) = -H(x - t) \int_t^x \frac{ds}{p(s)} + \int_0^x \frac{s ds}{p(s)} + \alpha_1(t) \int_0^x \frac{ds}{p(s)} + \alpha_2(t)$$

adódik. A peremfeltételekből következő $G'(0, t) = G'(1, t) = 0$ egyenletek alapján $\alpha_1 = 0$. Az

$$\int_0^1 G(x, t) dx = 0$$

kompatibilitási egyenlet értelmében:

$$\alpha_2(t) = \int_t^1 \int_t^y \frac{ds dy}{p(s)} - \int_0^1 \int_0^y \frac{s ds dy}{p(s)}.$$

Bevezetve az

$$\begin{aligned} u(x) &= \int_0^x \frac{ds}{p(s)}, & v(x) &= \int_0^x u(s) ds, \\ w(x) &= \int_0^x \frac{s ds}{p(s)}, & z(x) &= \int_0^x w(s) ds \end{aligned}$$

jelöléseket,

$$G(x, t) = \begin{cases} G_1(x, t), & \text{ha } x < t \\ G_2(x, t), & \text{ha } x > t \end{cases} \quad (21)$$

alapján a

$$G_1(x, t) = w(x) + v(1) - v(t) - u(t)(1 - t) - z(1),$$

$$G_2(x, t) = -u(x) + u(t) + w(x) + v(1) - v(t) - u(t)(1 - t) - z(1)$$

függvényeket nyerjük. Ha figyelembe vesszük a

$$w(x) = x u(x) - v(x)$$

egyenlőséget, (21) szimmetriája könnyen igazolható. A $G(x, t) = G(t, x)$ szimmetria igazolásához elegendő a

$$G_1(x, t) = w(x) + v(1) - v(t) - u(t)(1 - t) - z(1),$$

valamint a

$$G_2(t, x) = -u(t) + u(x) + w(t) + v(1) - v(x) - u(t)(1 - x) - z(1)$$

függvények összehasonlítása.

4. Tekintsük a (12) feladatot a $p = 1$ esetben. Ekkor az általánosított Green-függvény:

$$G(x, t) = (t - x) H(x - t) + \frac{x^2}{2} + \frac{t^2}{2} - t + \frac{1}{3}. \quad (22)$$

Szerkesszük meg a teljes L^2 térre vonatkozó Green-függvényt a (12) operátor kis változtatásával. Az új operátor

$$D^*v(x) = Dv(x) + \varepsilon v(x)$$

lesz. Fizikai értelmezés szerint ε hozzáadása a rezgő rúdhoz kapcsolódó igen lágy megoszló rugórendszerrel azonos. Green-függvényét a

$$-G^{**}(x, t) + \varepsilon G^*(x, t) = \delta(x - t)$$

egyenlet megoldásával nyerhetjük. Ismételt integrálásokkal nem lehetséges ez esetben a $G(x, t)$ explicit meghatározása. A Dirac-féle disztribúció tulajdonságait ismerve azonban a keresett megoldás a

$$G^*(x, t) = \begin{cases} G_1^*(x, t), & \text{ha } x < t \\ G_2^*(x, t), & \text{ha } x > t, \end{cases}$$

$$\begin{aligned} G_1^*(x, t) &= A_1(t) \sinh \mu x + A_2 \cosh \mu x, \\ G_2^*(x, t) &= B_1(t) \sinh \mu x + B_2 \cosh \mu x \end{aligned} \quad \mu = \sqrt{\varepsilon},$$

függvények alakjában kereshető, melyek kielégítik a

$$[G_2^*(x, t) - G_1^*(x, t)]_{x=t} = 0,$$

$$[G_2^{*'}(x, t) - G_1^{*'}(x, t)]_{x=t} = 1,$$

$$G_1^{*'}(0, t) = G_2^{*'}(1, t) = 0$$

feltételeket. A keresett A_1 , A_2 , B_1 , B_2 függvényekre az

$$\begin{aligned} A_1 &= 0, \\ A_2 &= \frac{\cosh \mu t \cosh \mu}{\mu \sinh \mu} - \frac{\sinh \mu t}{\mu \sinh \mu}, \\ B_1 &= -\frac{\cosh \mu t}{\mu}, \quad B_2 = \frac{\cosh \mu t \cosh \mu}{\mu \sinh \mu} \end{aligned}$$

adódik. Segítségükkel a

$$\begin{aligned} G_1^*(x, t) &= \frac{\cosh \mu x \cosh \mu(t-1)}{\mu \sinh \mu} \\ G_2^*(x, t) &= \frac{\cosh \mu t \cosh \mu(x-1)}{\mu \sinh \mu} \end{aligned}$$

Green-függvényt kapjuk. μ szerint sorba fejtve például $G_1(x, t)$ -t, a sorfejtésnél μ kicsiny voltából kiindulva a μ -ben magasabb rendű tagokat elhanyagolva, a

$$\begin{aligned} G_1(x, t) &\approx \frac{\left(1 + \frac{\mu^2 x^2}{2}\right) \left(1 + \frac{\mu^2(t-1)^2}{2}\right)}{\mu \left(\mu + \frac{\mu^3}{6}\right)} = \\ &= \frac{1 + \frac{\mu^2 x^2}{2} + \frac{\mu^2(t-1)^2}{2} + \frac{\mu^4 x^2(t-1)^2}{4}}{\mu^2} \cong \\ &\cong \frac{1}{\varepsilon} + \left(\frac{x^2}{2} + \frac{(t-1)^2}{2}\right) + \varepsilon \frac{x^2(t-1)^2}{4} \end{aligned}$$

függvényre jutunk. A középső tag az általánosított Green-függvény, amely (22)-vel azonos eredményt ad $x < t$ esetében, ha biztosítjuk a kompatibilitási feltétel teljesülését egy additív konstans hozzáadásával.

IRODALOM

1. LÁNCZOS, C.: Linear Differential Operators, D. Van Nostrand Company Ltd., London 1961
2. RICHLIK Gy.—TÓTH Gy.: A Trefftz-Fichera módszer alkalmazása hajlító lengést végző rúd sajátkörfrekvenciáinak javítható behatárolására. *Műszaki Tudomány* 56 (1978), 131—142
3. ROACH, G. F.: Green Functions: Introductory Theory with Applications, Van Nostrand Reinhold Company, London 1970, 142—164
4. RUDNAI G.: Könnyűszerkezetek a jármű- és gépépítőiparban. Tankönyvkiadó, Budapest 1976, 346—359

5. FICHERA, G.: Linear Elliptic Differential Systems and Eigenvalue Problems. Lecture Notes in Math. 8. Springer Verlag, Berlin—Heidelberg—New York 1965
6. COLLATZ, L.: Eigenwertaufgaben mit technischen Anwendungen, Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig K.—G., Leipzig 1963, 452—453
7. BOSZNAY Á.: Változó keresztmetszetű, egyenes rudakból álló térbeli rúdszerkezet rezgési sajátfrekvenciáinak javítható közrefogása. III. rész. *Műszaki Tudomány* 52 (1976), 207—213
8. RIESZ, F.—SZÓKEFALVI, N. B.: Lecons d'analyse fonctionnelle, Akadémiai Kiadó, Budapest 1953, 242—244

Contribution to the Application of the Trefftz—Fichera-method to Vibration Problems. —

It is familiar that the Trefftz—Fichera-method is an effective means to the improvable estimation of the strictly positive eigenvalues or eigenvalue problems of continuum vibration to be described with linear integral operations. Recently, [2] has shown the application of the method for approaching the eigenfrequencies of the flexural vibration of a bar of variable cross section. In the engineering practice the observance of the strict positivity is in many cases not possible. This means, figuratively spoken, that the constraining, i. e., boundary conditions also permit a rigid-bodylike motion. This is the case, for example, in connection with flying objects or with certain mechanisms. The method mentioned can also in such cases be applied with suitable completions; the solution lies in producing Green's generalized function to be coordinated to the problem.

Ergänzungen zur Anwendung für Schwingungsprobleme der Methode Trefftz—Fichera. —

Es ist bekannt, daß die Methode Trefftz—Fichera ein wirkungsvoller Mittel zur verbesserlichen Schätzung der streng positiven Eigenwerte der mit Linearoperatoren beschreiblichen Eigenwertprobleme des Kontinuumschwingungs ist. Neulich wurde die Anwendung der Methode durch eine Studie der einschlägigen Literatur zur Näherung der Eigenfrequenzen der Biegungsschwingungen eines Stabes von veränderlichem Querschnitt demonstriert. In der Ingenieurpraxis ist die Einhaltung der strengen Positivität nicht möglich. Dies bedeutet, daß — bildhaft gesagt — die Zwangs-, bzw. Randbedingungen auch eine Starrkörperbewegung ermöglichen. Dies ist der Fall z. B. in Zusammenhang mit fliegenden Objekten, oder mit gewissen Mechanismen. Die erwähnte Methode kann auch in diesen Fällen angewandt werden; die Lösung liegt in der Herstellung der zur Aufgabe koordinierbaren sog. verallgemeinerten Greenschen Funktion.

A VASBETONSZERKEZETEK MECHANIKÁJÁVAL FOGLALKOZÓ HAZAI KUTATÁS EREDMÉNYEI ÉS FELADATAI

HELYZETKÉP

SZALAI KÁLMÁN*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

DEÁK GYÖRGY** és LENKEI PÉTER***

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSAI

[Beérkezett: 1981. január 5-én]

Jelen tanulmány célja a vasbetonszerkezetek mechanikája terén az elmúlt három évtizedben elért eredmények bemutatása és a kutatószervek további feladatainak megjelölése a vasbetonépítés igényeinek, a folytatandó hazai hagyományoknak, a nemzetközi kooperációból származó lehetőségeknek és kötelezettségeknek a figyelembevételével. Az alapanyagok, a technológia, a szerkezettervezés problémáival a tanulmány csak olyan mértékben foglalkozik, amennyiben azok jelentősen befolyásolják a szerkezetek mechanikai sajátosságait. Másrészt a különböző — rendszerint vasbetonból készített — szerkezetekkel kapcsolatos kutatást csak olyan mértékben tárgyalja a tanulmány, amilyen mértékben az figyelembe veszi a vasbeton sajátos tulajdonságait.

1. A vasbetonépítés nemzetközi és hazai fejlődési irányai

Az évszázad első felében a vasbeton vált az építőipar legfőbb szerkezeti anyagává. Várható, hogy az ezredfordulóig megőrzi ezt a szerepét versenytársaival — a korszerű acél, fa- és műanyagyszerkezetekkel — szemben, mint-hogy a kutatás a vasbetonépítés fejlesztésének egyre újabb tartalékait tárja fel.

A *szerkezeti anyagok* fejlesztésének egyik iránya a betonok szilárdságának növelése. Ez lehetővé teszi a keresztmetszeti méreteknél, a szerkezet súlyának, ill. terhének és az építési költségeknek a csökkentését. — A szerkezeti könnyűbetonok elsősorban ott versenyképesek a hagyományos betonokkal szemben, ahol a kavics vagy kőzúzalék beszerzése nehézségekbe ütközik; ezért várható, hogy jelentőségük a jövőben hazánkban is növekedni fog. — Műanyag-adalékos betonokat különleges célokra alkalmaznak: főleg sérült szerkezetek javítására és olyan elemekben, melyektől megkívánjuk, hogy nagy rugalmas alakváltozásra legyenek képesek.

A közönséges (nem feszített) vasbetonszerkezetekben a $400 \div 450 \text{ N/mm}^2$ folyási határú, jól hegeszthető, előnyös felületképzésű melegen hengerelt vagy hidegen húzott acélok alkalmazása anyag-, munka- és költségmegtakarítást eredményez. A feszített szerkezetekben az $1600 \div 2000 \text{ N/mm}^2$ szakítószilárd-

* Prof. Dr. Szalai Kálmán 1016 Budapest, Derényi u. 9/B

** Prof. Dr. Deák György 1026 Budapest, Tüske u. 10

*** Dr. Lenkei Péter, 1119 Budapest, Szakasits Árpád u. 4

ságú, kis relaxációs veszteséget mutató, korrózióra kevésbé hajlamos huzalok (huzalpázmák) felhasználásával érhető el ugyanez a cél. — Hazánkban most vannak elterjedőben a hegesztett acélhálók és vázak, melyek nemcsak a vaszerelés munkaigényét csökkentik, hanem növelik a szerelés pontosságát is, javítják a beton és az acél közötti kapcsolatot.

A beton húzószilárdságát növelő egyéb anyagok — acélszál, üvegszál, stb. — alkalmazása világszerte a kutatás stádiumában van.

A vasbetonszerkezetek *feszítése* számos előnnyel jár: korlátozza a repedések megnyílását vagy teljesen kizárja azok keletkezését; növeli a szerkezetek merevségét, ill. lehetővé teszi a szerkezeti magasság csökkentését; módot ad nagy szilárdságú acélok alkalmazására; növeli az elemek nyírási teherbírását és fárasztó igénybevétellel szemben tanúsított ellenállását. Hazánkban nemzetközi mércével mérve is viszonylag nagy az előfeszített szerkezetek részaránya; némi lemaradás mutatkozik az utófeszítési technológia alkalmazásában.

A szerkezeti elemek *előregyártása* nemcsak az építéshelyi munkák mennyiségét és időtartamát csökkenti, hanem korszerű nagyüzemi gyártási technológiák alkalmazását is lehetővé teszi; ezekkel — a költségmegtakarítás mellett — nagyobb betonszilárdság, pontosabb méret, esztétikusabb felület érhető el. A csomópontok előnyös kialakítása egyrészt a szerkezetek statikai rendszerének leegyszerűsítését, másrészt esetenként speciális technológiai eljárások (injektálás, hegesztés, utófeszítés, esetleg nyomatékszabályozás) alkalmazását indokolja. Felmerül a különböző szerelvények (saruk, kapcsolóelemek, lehorgonyzások) tipizálásának igénye.

Jelentős a fejlődés a *monolit építésmód* területén is. A korszerű zsaluzatok és állványok nemcsak a zsaluzási munkák költség- és időigényét csökkentik, hanem nagy pontosságú, vakolást nem igénylő szerkezeteket eredményeznek. A beton szállítása és bedolgozása nagymértékben gépesíthető; a korszerű betontechnológia gyors kiszaluzást tesz lehetővé. Új formákban vetődik fel az előregyártás és a monolit építésmód kombinálásának lehetősége (pl. födémemeléssel).

A *felületszerkezetek* (héjak, lemezek, lemezművek, falak) egyszerre látnak el teherhordó és térelhatároló szerepet; térbeli erőjátékuk folytán súlyuk és anyagigényük viszonylag kicsiny. Elterjedésüket építéstechnológiai nehézségek gátolják; ezért fontosak az ezek leküzdésére irányuló próbálkozások (előregyártás, gördülő vagy csúszó-zsaluzás, pneumatikus zsaluzás stb.). A fejlett építéstechnológia magyarázza a teherhordófalas (panelos, alagút-zsalus) építésmód széleskörű elterjedését.

A kutatók és tervezők arra törekednek, hogy a vasbetonszerkezeteket alkalmassá tegyék olyan *különleges hatások* elviselésére, mint a lökésszerű igénybevétel (földlökés, széllökés, robbanás stb.), egyenlőtlen talajmozgás, rendeltetésszerű vagy véletlen hőhatás, a technológiai folyamatokból vagy a

környezetből származó korróziós hatás. Az anyagok, a szerkezeti rendszer és a kapcsolatok helyes megválasztása, a szakszerű méretezés jelentős eredményekhez vezetett ezen a területen világszerte, kisebb mértékben hazánkban is. A sugárzások elleni védelemnek is egyik fő eszköze a megfelelő összetételű és méretű betonszerkezet.

A *méretezés* fejlődése lehetővé tette a szerkezetek keresztmetszetének, súlyának, költségének csökkentését megbízhatóságuk csökkenése nélkül. A tervezés alapadatainak (teher, szilárdság, méret stb.) egyre jobban ismert statisztikus eloszlását az ún. „félvalószínűségi módszer” keretében veszik számításba. A homogén, rugalmas, izotrop anyag-modell helyett a tervezés gyakorlatában is előtérbe kerülnek azok az eljárások, melyek már az igénybevételek meghatározásakor figyelembe veszik az anyagok rugalmas-képlékeny tulajdonságait, a repedések kialakulását, az ezekből származó fizikai, valamint a geometriai nem-linearitást, az acélbetétek okozta inhomogenitást és anizotrópiát. A tönkremenetel állapota mellett egyre nagyobb szerephez jut a használati állapot pontosabb vizsgálata.

A *gépi számítástechnika* nemcsak bonyolult számítások elvégzését, több terv-variáns összehasonlítását, részletes méretezési segédletek készítését könnyíti meg, hanem lehetővé teszi a tervezés komplex gépesítését is: a szerkezeti rendszer elemeinek tervezését a vasalás műhelyrajzának elkészítéséig, az adott épülethez szükséges elemeknek a számított igénybevételek alapján való kiválasztását, az összeépítési terv megrajzolását.

2. A hazai kutatás eredményeinek áttekintése

A századfordulón ZIELINSKI Szilárd a Budapesti Műszaki Egyetem tanára hozta haza a vasbetont, mint új építőanyagot közvetlenül Franciaországból és így Magyarországon a vasbetonszerkezetek fejlődése a fejlett ipari államokkal gyakorlatilag egyidőben kezdődött el. A század első évtizedeiből mindenekelőtt MIHAILICH Győző tevékenységét kell kiemelnünk; ő vetette meg a vasbetonszerkezetekkel foglalkozó hazai kutatás alapjait.

Rendkívül gazdag — világszerte érdeklődést és elismerést kiváltó — kutatómunka folyt az elméleti rugalmasságtan és képlékenységtan alapján a rendszerint vasbetonból készített szerkezetek (keretek, lemezek, héjak) erőjátékának tisztázása érdekében. A témakörben KAZINCZY Gábor volt a világon az első kutató, aki a képlékenységtan alapjait megvetette (1914), jelenlegi hazai művelői közül CSONKA Pált, PALOTÁS Lászlót, SZMODITS Kázmért kell kiemelnünk.

A felszabadulás új lendületet adott a vasbetonépítésnek. A nagy építkezések — elsősorban az ipari beruházások — jelentősen növelték a felhasznált vasbeton mennyiségét. Létrejött a korszerű betonelemgyártó ipar. Kialakultak

az ipari kutatóintézetek, közöttük az Építéstudományi Intézet. Megnőtt a témakör súlya az egyetemi oktatásban is; ezt jelezte az Építőanyagok Tanszékének és a Vasbetonszerkezetek Tanszékének létrehozása. A vasbetonszerkezetekkel foglalkozó hazai kutatást olyan nevek fémjelezték, mint ENYEDI Béla, MENYHÁRD István, PALOTÁS László, BÖLCSKEI Elemér.

2.1 A beton és betonacél mechanikai tulajdonságai

Az építőipari kutatás egyik fő területe az építőipar keretében előállított legfontosabb építőanyag: a beton. Több hazai kutatóhely: az ÉTI, SZIKKTI, ÉMI, a BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke és Építőanyagok Tanszéke foglalkozik ilyen jellegű kutatással, szorosan együttműködve az érdekelt vállalatokkal és igyekezve választ adni az ipar részéről felvetett kérdésekre.

Széleskörű kísérletek elemezték a hazai alapanyagokból készített betonok — köztük az üzemi előregyártásban alkalmazott nagyobb szilárdságú betonok — műszaki jellemzőit. A könnyűadalekos betonok alapos vizsgálata készítette elő annak idején a blokkos építésmód — az első „iparosított” építésmód — bevezetését. Az atomfizikai és radiológiai kutatás hazai kiterjedésedését, a kísérleti atomreaktorok építését a sugárzásvédő betonok kifejlesztése kísérte. Számos — részben laboratóriumi, részben meglevő szerkezeteken végzett — vizsgálat igyekezett fényt deríteni a bauxitcementtel készített betonok szilárdságcsökkenésének folyamatára.

A betonnal foglalkozó mechanikai kutatások közül három témakör emelhető ki:

— A beton struktúrájában a feszültség növelésével bekövetkező változások vizsgálata magyarázatot adott arra, hogyan és miért befolyásolja a terhelés sebessége, időtartama, ismétlődése a beton alakváltozását, harántirányú deformációját és tönkremenetelét. Ugyancsak a struktúra és szilárdság összefüggésének elemzése segített feltárni az adalék szemnagyságára visszavezethető lépték-hatást, a különböző méretű és alakú beton-próbatestek szilárdságának viszonyát.

— A vasbetonszerkezetek lassú alakváltozása és az ebből származó károk, valamint a feszített szerkezetek acélbetéteiben mutatkozó jelentős feszültség-csökkenés irányította a kutatók figyelmét a beton időben lejátszódó folyamataira: a kúszásra (alapvetően viszkózus alakváltozásra) és zsugorodásra. A kutatók egy része a különböző tényezőknek és ezen folyamatoknak az összefüggését elemezte; mások azt a függvényt igyekeztek meghatározni, amellyel az alakváltozások időbeli befolyása leírható és így a terhek változásának hatása, valamint a különböző, időben lejátszódó folyamatok egymáshatása számításba vehető.

— A vasbetonszerkezetek méretezésében érvényesülő sztochasztikus szemlélet a figyelmet a beton szilárdságában mutatkozó ingadozásra, mint a

szerkezetek biztonságát meghatározó egyik fontos tényezőre irányította. Részen nemzetközi együttműködés keretében vizsgálták a szilárdság eloszlásának jellegzetességeit, a szórás és az átlagos szilárdság összefüggését, a technológiai tényezőknek (összetétel, keverőgép típusa, keverés időtartama stb.) a szórásra gyakorolt hatását. Emellett kialakult a hazai üzemi vizsgálati eredményeket összesítő adatbank, mely a további hazai kutatáshoz és a minőségellenőrzés szabályozásához nyújt alapot.

Az *acélbetétek* tulajdonságainak kutatása területén jó együttműködés alakult ki a kohászati vállalatok és az építőipari kutatóhelyek között. Emellett hatékony nemzetközi együttműködés jött létre a KGST és a FIP (Nemzetközi Feszítettbeton-Szövetség) keretében.

A melegen hengerelt betonacélok fejlesztése az 50-es években állt a kutatás előterében. Részen az akkoriban bevezetett hordás felületű acélok betonban való lehorgonyzódását vizsgálták, emellett az új, nagyobb szilárdságú acélfajták hegesztésének lehetőségét és módját tanulmányozták. A tömegesen alkalmazott hazai acélfajtával szerzett kedvezőtlen tapasztalatok miatt az utóbbi téma átmenetileg háttérbe szorult; várható, hogy a hegeszthető acélfajták körének szélesedésével a közeljövőben ismét növekszik a hegesztéssel kapcsolatos kutatás jelentősége.

A nagyszilárdságú feszítőhuzalok kutatásának egyik fő iránya a feszítőhuzaloknak betonban való lehorgonyzódásával, az ezt elősegítő legkedvezőbb felület kialakításával foglalkozott. A másik — nemzetközi szempontból is jelentős — irány a megfeszített huzalok relaxációját tanulmányozta. Bebizonyosodott, hogy ez a folyamat hosszabb lefolyású és a feszültségvesztések szempontjából jelentősebb, mint azt korábban gondolták; emellett a beton hőérlelésével járó felmelegedés is kedvezőtlenül befolyásolja.

A kis-széntartalmú huzalok kutatása a közelmúltban került előtérbe a hegesztett hálók és vázak elterjedése kapcsán. A huzalok szilárdsági jellemzőinek eloszlásával, valamint az ellenállás-hegesztésnek ezen jellemzőkre gyakorolt hatásával foglalkozó vizsgálatok azt mutatták, hogy még jelentős szilárdsági tartalékok mutatkoznak a korábbi szabályzatokhoz képest. Kevés kísérleti adattal rendelkezünk azonban a hegesztett csomópontok szilárdságáról és a keresztszalaknak a betonban való lehorgonyzódásáról. Sajnos ezen a területen a nemzetközi szakirodalomból meríthető információk is hiányoznak, illetve ellentmondóak.

2.2. A szerkezeti elemek teherbírása

A vasbetonszerkezetek, ill. szerkezeti elemek teherbírásának kutatása egyidős a vasbetonépítéssel. Az anyag és a szerkezet sajátos viselkedése miatt a vasbetontudomány elsősorban a kísérleti mechanika módszereivel dolgozik.

A teherbírás megítélését ugyanis nehezítik a beton repedésérzékenysége, az igénybevételi szinttől függően lehetséges három feszültségi állapot, a vasalás mértéke, a két anyag együttműködésének konkrét feltételei, a szerkezet és a próbatest betonja közötti nem egyértelmű összefüggés, a beton szilárdsági és alakváltozási tulajdonságainak időben való változása, stb.

A beton- és vasbetonszerkezeti elemek *axiális* (hajlító, nyomó) igénybevételekkel szemben való viselkedésének megítélése az utóbbi időben jelentős fejlődésen ment keresztül. A beton anyagmodelljének indokolt és igazolt módosítása révén a nyomó és nyomó-hajlító szilárdság értelmezése elvileg módosult. A nyomott vasbetonelem számítását a hatvanas évek végéig a rugalmas stabilitáselmélet alapján központos és külpontos esetekre választották szét. A hazai és külföldi kutatások eredményeként a nyomott elemek vizsgálatát ma egységes szemlélettel hajtják végre. A nyomott-hajlított keresztmetszet, illetve rúd törési feltételének megfogalmazásával a kutatás a beton, vasbeton, feszített vasbeton sajátos törvényszerűségét tárta fel. A vasbetonelmélet fejlődésének eredményeként az axiális igénybevételekre való méretezés így egységes felfogással történhetik feszített és nem feszített beton- vagy vasbetonszerkezeteknél egyaránt. A vasbetonelmélet a stabilitási feladatokat rugalmasságtani vagy képlékenységtani megközelítés helyett egyre inkább a reális anyagmodelleket használó, a nagy alakváltozásoknak az egyensúlyra gyakorolt hatását is számításba vevő törési elmélet alapján oldja meg. Ennek keretében az explicit és közelítő megoldások helyett a szélső szálak alakváltozását figyelembe vevő, a nyomaték-normálerő-görbület kapcsolat vizsgálatára épülő pontosabb, iterációs gépi eljárások vannak kialakulóban.

A beton- és vasbetonszerkezeti elemek *tangenciális* (nyírási, csavarási) teherbírását itthon és külföldön igen sokan vizsgálják. A kutatásban eddig jelentősebb helyet kapott a derékerő okozta nyírási igénybevételekkel szemben való viselkedés, és kevesebb figyelmet fordítottak a csavarás hatására keletkező nyírófeszültségek vizsgálatára, bár sor került már igényes kísérleti-elméleti kutatásra e téren is. Jelentősek a nyomott betonövre hárítható nyíróerővel kapcsolatos hazai kutatások eredményei. Ugyanakkor a csavarási teherbírásra, a tartóvég viselkedésére, az átszűrődásra, továbbá a csavarónyomaték és a nyírási együttes működésére vonatkozóan még nem általánosíthatók az eredményeink. Még egyszerű statikus igénybevételre sem rendelkezünk olyan szemlélettel, amelynek segítségével a vasbetonrúd teherbírása meghatározható mind a hat igénybevételi összetevő egyidejű figyelembevételével.

A kutatás elmélyítését az anyagi lehetőségek korlátozzák. Ezt figyelembe véve a hazai kutatás jelenleg gyakran csak arra szorítkozhatik, hogy a külföldi (CEB, KGST, szovjet, amerikai, német stb.) kutatások eredményeit magyar viszonyokra adaptálja.

A méretezés valószínűségelméleti módszerének teljes értékű kidolgozása érdekében szükség van a méretezésben szereplő mennyiségekre vonatkozó

adatok tömeges összegyűjtésére — további adatbankok létrehozására — és az elméleti alapok továbbfejlesztésére abból a célból, hogy az építményeink megbízhatóságát reálisan tudjuk megítélni.

2.3. A szerkezeti elemek repedései és alakváltozásai

A szerkezeti anyagok szilárdságának növekedése, a szerkezetek keresztmetszeti méreteinek és súlyának csökkenése, az esetleges terhek és egyéb hatások fokozódása következtében előtérbe került az az igény, hogy külön vizsgálattal ellenőrizzék a használati — általában rugalmas — állapotra vonatkozó követelmények teljesülését.

A hazai méretezés-elméleti kutatás viszonylag hamar felismerte, hogy a szerkezetek *repedésmentességét* csak kivételes esetekben indokolt biztosítani, és a betonban fellépő fiktív húzófeszültségek korlátozása tévútra vezeti a tervezőt. Már az 50-es évek elején publikáció jelent meg a *repedések tágasságának* számítás útján való korlátozásáról és a MÁV vasbetonhidjait ilyen eljárással tervezték. Az eljárás a 70-es évek elején vált általánossá; az új előírások már az ÉTI-ben végzett széleskörű kísérletek eredményeire támaszkodik és főleg a feszített szerkezetek repedéseinek vonatkozásában hoztak újat.

Továbbfejlesztette a számítási módot az olyan felületszerkezetekkel foglalkozó kutatás, melyekben az acélbetétek iránya eltér a főfeszültségek irányától. Nem sikerült még elmélettől és méretezési eljárással fejleszteni azokat az ismereteinket, amelyek a hegesztett hálónak a repedésképződésre gyakorolt hatására vonatkoznak. Ami a repedések tágasságának az acélbetétek korrózió elleni védelmének, a szerkezet vízhatlansága és a kedvezőtlen vizuális hatás szempontjából megengedhető értékeit illeti, ezekkel a hazai kutatás nem foglalkozott behatóan; előírásaink a határértékeket a külföldi szakirodalomból vették át.

Az *alakváltozásoknak* a rugalmas, berepedt állapot alapján való számítása szintén a 70-es évek elején terjedt el hazánkban. Nagyszámú kísérlet igazolja, hogy ezzel az eljárással laboratóriumi körülmények között végzett vizsgálatok esetében az alakváltozások hasonló pontossággal számíthatók, mint a teherbírás. A közelmúltban több külföldi és hazai publikáció foglalkozott a feszített szerkezetek alakváltozásának a számításával abban az állapotban, amikor húzott övük már megrepedt. Ugyanakkor hiányzik kísérletileg kellőképpen igazolt eljárás a kombinált (nyomás, hajlítás, nyírás és csavarás) igénybevételeknek kitett elemek alakváltozásának meghatározásához.

Az alakváltozások és lengések megengedhető értékét az emberre gyakorolt vizuális és fiziológiai-pszichológiai hatás, az építmény funkcióinak esetleges zavarása és a tartószerkezethez kapcsolódó egyéb szerkezetek (válaszfalak, burkolatok, szigetelések, csővezetékek, stb.) védelme határozza meg. Magyar kutatók feldolgozták az ezzel kapcsolatos nemzetközi adatokat és

tapasztalatokat; kísérletekkel vizsgálták a különböző válaszfalaknak és burkolatoknak a deformációkkal szemben való érzékenységét, és ezek alapján KGST kutatás keretében javaslatot dolgoztak ki az alakváltozási határértékek szabályozására.

A kutatómunka azt is feltárta, hogy sem hazai, sem nemzetközi viszonylatban nem eléggé tisztázott a használati állapotra vonatkozó követelmények teljesítéskor vállalt és indokolt kockázat mértéke, a „használati teher” értelmezése.

2.4. A dinamikus vagy ismétlődő igénybevétel hatása a vasbetonra

A nagyobb szilárdságú betonok és acélok, az előregyártás és feszítés az utóbbi évtizedekben a vasbetonszerkezetek súlyának lényeges csökkenését eredményezte. Ugyanekkor a különböző dinamikus, ismétlődő jellegű hatások nagysága nőtt: fokozódott a közúti, vasúti és légi közlekedés, a gépi berendezések okozta környezeti rezgés-szennyeződés; több ok miatt előtérbe kerültek a földrengés, a szél, a lökőhullám, az ütés okozta dinamikus hatások. E két tényező együttes fellépte következtében az utóbbi időben megnőtt a dinamikus hatásoknak kitett vasbetonszerkezetekkel kapcsolatos kutatások jelentősége. Ezen területen sok országban jelentős eredményeket értek el. Az átfogó helyzetismertetést nehezíti, hogy e témák jelentős része nem kerül nyilvánosságra, mert a kutatásban érdekeltek az egyes államok katonai szervei is. Így sok esetben elkerülhetetlen a párhuzamos kutatás.

Magyarországon a dinamikus hatásoknak kitett vasbetonszerkezetek kutatása a felszabadulás után elsőnek a gépalapokkal, a darupályákkal és a vasúti keresztaljakkal volt kapcsolatos.

Folytak vizsgálatok más dinamikus hatásnak kitett szerkezetek (pl. hidak) esetében is. Különösen jelentősnek értékelhető a feszített vasbeton keresztaljak kialakításával, tökéletesítésével foglalkozó kutatómunka, ugyanis ez tette lehetővé, hogy ebből a termékből és a termék előállításának technológiájából jelentős export alakulhatott ki.

A hazai kutatások is jelentős eredményeket hoztak a közönséges és feszített betonacélok olyan hengerelt vagy hidegen alakított (hullámosított, rovátkolt) profiljának kialakításában, amely nem növeli az acél érzékenységét fáradással szemben.

A 70-es évek hazai eredményeit jelzi a robbanás jellegű terhek alatt bekövetkező anyagviselkedés leírása a közegek mechanikájának modern módszereivel. Elméleti szempontból is jelentősek azok a kutatások, amelyek a statikailag sokszorososan határozatlan szerkezetek sajátfrekvenciáinak meghatározásával foglalkoztak (beleértve a csavarási sajátfrekvenciákat is) és pedig úgy, hogy egyes esetekben vasbetonnak a lineáristól eltérő viselkedését is figyelembe vették.

A kutatások másik nagy csoportja a földrengés-álló vasbetonszerkezetekkel foglalkozik. Ezen a területen itthon is az energia-elnyelés koncepciója lett a kutatások kiinduló pontja. Ez a szemlélet olyan szerkezeti kialakításra törekszik, amely lehetővé teszi a szeizmikus hatások felvételét részleges helyi (pl. csomópontokban koncentrált) károsodásokkal, rongálódásokkal, de a szerkezet összeomlása nélkül.

A dinamikus hatások okozta *alakváltozások* vizsgálata elsősorban az épületekben vagy a műtárgyakon tartózkodók egészségére káros, illetve kellemtelen rezgéshatások tisztázását célozta. Itt a kutatási feladat a vasbetonszerkezeti rezgésjellemzők határértékének megállapítása, valamint a rezonancia-tartomány elhangolása volt. Az ezen a területen elért eredmények a nemzetközi szabványosítás szempontjából is jelentősek voltak. Kutatás folyt annak megállapítására, hogy a dinamikus, vagy ismétlődő hatások okozta alakváltozás hogyan függ az dinamikai jellemzőktől és mennyire haladja meg a hasonló nagyságú statikus igénybevétel okozta alakváltozást. Az ezen a területen elért eredmények lehetőségét adták arra, hogy megtegyük az első lépéseket a dinamikus hatások okozta alakváltozások számításának szabályozására.

2.5. A vasbeton szerkezetek erőjátéka

A statikailag határozatlan vasbeton szerkezetek igénybevételeinek hagyományos, még ma is széles körben alkalmazott számítási módszere lineárisan rugalmas, repedésmentes modellt vesz alapul. A vasbeton keresztmetszeteket viszont évtizedek óta a törési állapot alapján, közelítésként képlékeny állapot feltételezésével méretezzük. Ennek az ellentmondásnak a feloldására már a 20-as években megjelentek a vasbeton lemezekre, később a gerenda-szerkezetekre vonatkozó első törési elméletek, ma pedig már a bonyolult térbeli szerkezetek törési, ill. határegyensúly-elméletei is kialakultak.

A hazai mechanikai kutatás ezen a területen is nagy és gazdag hagyományokra tekinthet vissza. A vasbeton lemezek, statikailag határozatlan rúd-szerkezetek, héjak töréselméletével olyan kutatók foglalkoztak, mint KAZINCZY Gábor, MENYHÁRD István, PELIKÁN József, BÖLCSKEI Elemér. Ennek az irányzatnak a magyar kutatásai — támaszkodva a gazdag külföldi eredményekre, elsősorban a szovjet, a lengyel és a dán iskolára — azt eredményezték, hogy a hazánkban a méretezési előírások is tartalmaznak képlékenységtani feltevéseken alapuló eljárásokat.

A vasbeton lemezek törésvonal-, ill. határegyensúly-elmélete a képlékenységtan alkalmazásának klasszikus példája. A hazai kutatások több fontos elméleti tétel megfogalmazását eredményezték, tisztázták a törésvonalban ható igénybevételeket és ezzel lehetővé tették a gyakorlati alkalmazást.

Az utóbbi időben a hazai kutatómunkában a lemezek optimális kialakítása, a berepedt sík elem viselkedésének pontosabb leírása került előtérbe.

Kezdeti kutatási eredményekről beszélhetünk a lemezek alakváltozása területén is.

A vasbeton rúdszerkezeteknek — köztük a rugalmasan ágyazottaknak — a képlékenységtan szerint való vizsgálata gazdag kutatásokra tekinthet vissza. A képlékeny csuklók segítségével történő számítás több tételét tisztázták a hazai kutatók, és ezek gyakorlati alkalmazása jelentős gazdasági eredménnyel járt.

Említést érdemelnek azok az optimálási feladatok, amelyek megoldására kialakult módszerek jelentős része szintén nemlineáris anyagmodellből indul ki. A korszerű, nagyteljesítményű számítógépek lehetőségét nyújtanak ma már olyan matematikai programozási módszerek alkalmazására, amelyek gazdasági kihatása alig túlbecsülhető. Említést érdemel a szerkezetek nem-lineáris és a nem-determinisztikus viselkedésének összekapcsolása a sztohasztikus programozási módszerek segítségével.

A legutóbbi időkben ugyancsak a számítógépek térhódításával összefüggésben már olyan módszerek kutatása került előtérbe, amelyeknél az anyagmodell nem idealizált, lineárisan rugalmas, bilineáris (merev-képlékeny vagy rugalmas-képlékeny), vagy trilineáris (változó merevségű, végül képlékeny), hanem a vasbeton rúd vagy síkelem tényleges viselkedését követi. E modell segítségével iterációs módszerekkel határozzák meg a szerkezet erőjátékát esetenként véletlen változóknak tekintve egyes anyagjellemzőket. Ezek a módszerek lehetőséget nyújtanak egyrészt a közbeni állapotok — pl. használati állapot — vizsgálatára, másrészt annak megállapítására, hogy a feltételezett törési állapot létrejöhet-e az anyagok korlátozott alakváltozási képessége mellett.

Meg kell jegyezni, hogy az utóbbi eljárások jelenlegi formájukban általában adott méretű és vasalású szerkezet ellenőrzésére alkalmasak és nem a szerkezet keresztmetszeteinek megtervezésére. Segítségükkel azonban várhatóan kifejleszthetők olyan egyszerűsített tervezési eljárások, amelyek kizárják a képlékeny alakváltozások korai megjelenését, ill. a szerkezet alakváltozási képességének korai kimerülését.

2.6. A tervezés gépesítése

A vasbeton szerkezetek méretezésének „számítógépes segítésére” irányuló kutató-fejlesztő munka hazánkban már a 60-as évek elején, nem sokkal a számítógépek tartószerkezettervezési alkalmazásának megindulása után megkezdődött. E korai időszakban a vasbeton-szerkezetek gépi méretezése jórészt komplex programok részeként jelent meg. A számítógépek tartószerkezettervezési alkalmazásának előnyei ugyanis elsősorban olyan komplex programok segítségével aknázhatók ki, amelyek lehetővé teszik különböző szerkezeti variánsok kidolgozását és összehasonlítását (esetleg a valamilyen szempontból

kedvező variánsok automatizált megkeresését), és ehhez a gépesítésnek a méretezésre (illetőleg annak egyes kérdéseire) is ki kell terjednie. E hazai komplex programok — a gépi ellátottság akkori nehézségei ellenére — gyakorlati eredményeket is hoztak. Például ilyen komplex programmal számolták a Hotel Duna-Interkontinentál vasbeton kereteit és a tervvariánsok összevetését, sőt a gépi optimálást is alkalmazták konkrét építési feladatokra.

A vasbetonszerkezetek méretezésének számítógépes segítése — amellett, hogy bizonyos mértékig maga is kutatási-fejlesztési jellegű tevékenység — kezdettől fogva vetett fel olyan problémákat, amelyek további kutatást igényeltek. A gépesítés a méretezési előírásokban szokásos bizonytalanságokat, esetleges ellentmondásokat élesen kimutatja és sürgeti megoldásukat.

A vasbetonszerkezetek méretezésének fokozott gépesítésével összefüggésben átalakulóban van a méretezés módszertana. Erősödő igény jelentkezik az egzaktságra, az általánosságra, s ugyanakkor új lehetőségek nyílnak a vasbeton, mint sajátos szerkezeti anyag valóságos tulajdonságainak egyre pontosabb figyelembevételére.

Az első gyakorlati gépi számítási eredményekkel párhuzamosan születtek javaslatok ezen szempontoknak a szabályzatokban való érvényesítésére is.

Napjainkban a vasbeton tartószerkezetek méretezésével kapcsolatos gépesítési lehetőségek több irányban fejlődnek.

- Lehetséges összetett szerkezetek egészének számítógépes vizsgálata a vasbeton nem-lineáris tulajdonságai alapján. Az ilyen jellegű számítógépes vizsgálatok ma még elsősorban kutatási jellegűek, gyakorlati jelentőségük realizálása nagyobb távlatban várható. E téren mind rúdszerkezetek nem-lineáris viselkedésének figyelembevétele, mind a vasbetonszerkezetek egyes kritikus részeinek az inhomogén és nem-lineáris anyagtulajdonságokon alapuló számítógépes vizsgálata, mind pedig egyes sajátos vasbeton szerkezeti formák (pl: panelos építés) erőjátékának, különleges problémáinak számítógépes követése tekintetében jelentős hazai kutatási (és részben már gyakorlati) eredmények születtek.
- Sürgető gyakorlati igény jelentkezik olyan komplex program-rendszerek kifejlesztésére, amelyek lényegében a vasbetonszerkezeteknek jelenleg általánosan elfogadott és szabályzatokban is rögzített méretezési módszerét követik. Itt a komplexitás igénye és a jelenlegi eljárások hiányosságainak „menetközbeni” áthidalása vet fel érdekes problémákat. A komplexitás fogalomkörében egyre inkább a grafikus módszerek alkalmazása, a tervezési eredmények gépi úton való rajzi megjelenítése is beleértendő. E gondolat-körben a hazai építési rendszerekhez (korábban az UNIVÁZ, újabban a BVM-TIP) kapcsolódóan születtek érdekes és részben a gyakorlatba is bevonult eredmények, s a munkálatok jelenleg is intenzíven folynak.
- A kis (zseb, asztali) számítógépek széleskörű elterjedésével terjednek azok a méretező és szerkesztő programok is, amelyek nem komplex rendszerek

részeként, hanem önállóan gépesítik a vasbeton méretezés egyes munkafázisait. Sok esetben a vasbeton tulajdonságait pontosabban figyelembe vevő módszerek, illetve szabályzati előírások kézi úton alig realizálhatók, a mindig kéznél levő kisépekkel viszont igen. Több tervezőirodánk és más intézményünk adott ki értékes fejlesztési eredményeket tartalmazó program-összeállításokat a kisépek felhasználói számára.

3. A beton- és vasbetonszerkezeti szabványok

3.1. *A tervezési szabványok jelentősége*

A szerteágazó, sok szerv és személy közreműködésével folyó építési tevékenység országos és nemzetközi szintű szabályozásának rendkívül fontos szerepe van egyrészt a szükségesnek ítélt biztonság megteremtésében, másrészt a túlméretezés elkerülésében. A tudomány és technika folyamatos fejlődésének eredményeit és az építési tapasztalatok konzekvenciáit az időszakonként kiadott szabályzatok teszik joghatályossá.

| 3.2 *A mechanikai kutatási eredmények felhasználása a szabványokban*

A vasbetonszerkezetek hazai szabályozásának elmúlt három évtizedes története azt mutatja, hogy az építési tudomány és technika fejlődésének eredményei a nemzetközi átlagot meghaladó gyorsasággal jelennek meg az előírásokban.

Az 1949÷51. évek között kiadott Közúti Hídszabályzat, Vasúti Hídszabályzat, magasépítési szabványok (MSz) és az ezekhez kapcsolódó egyéb szabályozási kiadványok a rugalmas állapoton és az egyetlen biztonsági tényezőn (a megengedett feszültségeken) alapuló módszer helyett a világon elsőként vezettk be a törési állapoton és az osztott biztonsági tényezőkön alapuló új méretezési módszert. E munkában úttörőként elsősorban MENYHÁRD István, KORÁNYI Imre, GÁBORY Pál, HILVERT Elek szerzett érdemeket. A vasbetonszerkezetek tervezésére bevezetett ún. „n-mentes” számítással egyidejűen a szerkezetekben addig meglevő, a szükségesnél nagyobb teherbírás tartalék jelentős részét kihasználták. Az összehasonlító számítások azt mutatták, hogy az 1949–51. évi magyar vasbeton szabványok az 1931. évi helyzethez képest 20÷25% -kal csökkentették a szerkezetek anyagszükségletét. E csökkentést az eltelt évek igazolták, ugyanis a nem elegendő teherbírásra visszavezethető épülethibák gyakorisága nem növekedett. A bauxitbeton felhasználásával készült épületek felülvizsgálata is azt mutatta, hogy a korábbi szabályzat szerinti tervezés túlméretezést eredményezett.

3.3. *A szabványelőírások hatása az építés és kutatás fejlesztésére*

Az 1945÷51. évi tervezési szabványok nemzetközileg is igazolt alapelvei alapján — az extenzív építési és beruházási politika eredményeként is — a hazai kutatás és a tervezési gyakorlat, továbbá az építéstechnológia nagyarányú fejlődésén ment keresztül.

Az elmúlt évtizedek alatt az építési tudománynak és gyakorlatnak ezzel a kérdésével foglalkozó személyek és intézmények széles köre alakult ki. Az 1950÷70. közötti évek nagyarányú beruházási tevékenységével együtt, a gátolt nemzetközi kommunikáció ellenére is, a hazai építési tudomány lépést tartott a nemzetközi fejlődéssel. E fejlődés eredményeként az 1970÷72. években megjelentek az új tervezési szabványok (MSz 15020 sorozat, Közúti Hídszabályzat, OVHSz, majd a Vasúti Hídszabályzat). A nemzetközi (CEB és KGST) szakmai szervezetekben, ill. kongresszusokon elfogadott elveknek megfelelően e szabványok „félvalószínűségi” alapokra épülnek. A félvalószínűségi módszer lényegében a korábban alkalmazott, de pontosabban értelmezett határállapotok vizsgálatán alapul és osztott biztonsági tényezőket alkalmaz, amelyeket a népgazdaságilag optimálisnak ítélt biztonságból kiindulón adnak meg. A szabvány készítői az egyes paramétereknek (teher, szilárdság, méret) valószínűségelméleti értelmezést adnak és a számítási értékeket országos adatok felhasználásával matematikai statisztikai módszerrel határozzák meg. A félvalószínűségi módszert alkalmazó szabványaink, s az ezeket részleteiben ismertető és indokoló „Statikusok könyve” a maguk nemében és idejében újszerű vállalkozások voltak.

Különösen jelentősnek mutatkozott a biztonság, a szerkezet jelentőségének, a minőségi követelményeknek újfajta megfogalmazása. E munkában jelentős szerepet vállaltak MENYHÁRD István és BÖLCSKEI Elemér, a bizottság elnökei, továbbá MISTÉTH Endre és KÁRMÁN Tamás.

Az új szabályzati előírások kidolgozását megelőzően és azt követően kiterjedt kutatás folyt a hazai kutatóhelyeken, tervező intézményekben és a kivitelező vállalatoknál. E kutatás a hatvanas évek végétől kezdve széleskörű nemzetközi együttműködés keretébe illeszkedik. Ez az együttműködés mindenekelőtt a KGST és CEB, továbbá más szervezetek (FIP, RILEM, CIB, IVBH, IASS) kutatásaihoz való kapcsolódásban nyilvánult meg.

Az 1970-es évek elején kiadott új tervezési szabványok a biztonságot gyakorlatilag nem módosították, de összességében 3÷4%-os anyagmegtakarítást eredményeztek az anyagok minőségében bekövetkezett pozitív változás figyelembevételével.

E szabványok hatása, ill. eredményessége jelentősebb lett volna, ha az előregyártott szerkezetekre vonatkozó, 1971-ben elkészült és kiadásra érett tervezési szabványt a hivatali szervek nem teszik félre. A vonatkozó minőségellenőrzési szabványok elkészítésének késleltetése ugyancsak akadályozta a

tervezési szabványok korszerű elveiből következő gazdasági előnyök maradéktalan kihasználását.

Az 1970-es magyar szabványok alkalmazásának tapasztalatai és a nemzetközi összehasonlítás eredményei alapján az alábbiak állapíthatók meg:

- a vasbetonszerkezetek biztonságát a nemzetközi átlaghoz képest alacsonyabb abban az esetben, ha a méreteket a betonszilárdság szabja meg;
- a biztonság a nemzetközi mértéket meghaladja karcsú oszlopoknál, ha a méreteket az acél szilárdsága határozza meg;
- a nemzetközi átlagnál nagyobb a vasfelhasználás és a betonkeresztmetszet mérete akkor, ha azok kialakításánál a szerkesztési szabványok a mértékadók.

Időközben elkészültek, ill. kiadás előtt vannak a korszerű statisztikai szemléletet tükröző minőségellenőrzési (MSz 4720 a beton, MSz 5720 a feszítőhuzal, MSz 16030 az előregyártott termékek, MSz 339 a melegen hengerelt betonacél) szabványok. Ismereteink szerint a világon először sikerült kohászati termékek esetében a gyártókkal korszerű statisztikai értékelésben megállapodni a selejthatáron alapuló ellenőrzés helyett. Ezen szabványok bevezetése várhatóan javítja a gyártás, ill. az építés minőségét. Erre szükség is lesz, mert az acélhatárfeszültségek tervbe vett emelésével, továbbá a szerkesztési szabványok korszerűsítésével egyidejűen a vasbetonszerkezetek szilárdsági tartaléka csökken, s az épületkárok növekedése csak a minőségi követelményeket kielégítő munkával — és az ezt biztosító minőségellenőrzéssel — lesz elkerülhető.

3.4 Az építőipari tartószerkezeti szabályozás előtt álló feladatok

A közelmúltban kiadott kötelező jellegű KGST szabványok (Általános előírások; Beton- és vasbetonszerkezetek; Terhek és hatások; Betűjelek a tervezésben; Betonok minősítése) hatályba léptetése érdekében szabványainkat át kell dolgozni. Az átdolgozás során felhasználhatók az építési tudomány és technika hazai és nemzetközi eredményei. A fenti KGST szabványok hazai bevezetése 1983. évtől esedékes. A kapcsolódó szabványok átdolgozásakor a nemzetközi megállapodásoknak megfelelően egy sor módosítást kell bevezetnünk.

Ezekből kiemelhetők az alábbiak:

- új beton-jelölések, ill. betonosztályok bevezetése;
- új szabványos próbatest bevezetése;
- a beton új minőségi követelményeinek előírása;
- a betonszilárdság új számítási értékeinek megadása;
- a működési-feltételi tényezők rendszerének bevezetése;
- új szerkesztési szabályok bevezetése;
- új betűjelek bevezetése;
- az SI mértékegységek alkalmazása.

A fentiekén túl az előírásokat úgy kell megfogalmazni, hogy elősegítsék a gép felhasználására épülő tervezést. A tervezési és minőségellenőrzési szabványok átdolgozását össze kell kötni néhány számítási eljárás korszerűsítésével. Ennek keretében, felhasználva a KGST kutatási eredményeket, továbbá az ENSZ-EGB, ISO, CEB, FIP, RILEM vonatkozó eredményeit, korszerűsíteni kell többek között a nyírási és csavarási teherbírás, a repedéstágasság, az alakváltozás, a feszítési veszteségek számítását. Az új előírások biztosítsanak széleskörű lehetőséget a betonacél szerelésének iparosításához. Módosítani kell a „gyengén vasalt” jelleg feltételeit és az ilyen szerkezetek számításának módszereit.

A szabványok korszerűsítési munkáinak eddigi tapasztalatai azt mutatják, hogy rendkívül sok szubjektív és objektív akadály áll a fejlesztés útjában. A szabványosítási bázisszervek (rendszerint a gyártó, kivitelező vállalatok) létrehozása a szabványok készítéséhez szükséges anyagi háttér biztosítása szempontjából helyes intézkedés volt. Abban az esetben azonban, ha az előkészítésen túl a véglegesítés folyamata is a bázisszerv feladata, tevékenysége a felhasználói érdekekkel ellentétesnek is mutatkozhat.

3.5 A hazai kutatási eredmények értékelése a szabályozási tevékenység szempontjából

A vasbetonszerkezeti szabványok fentiek szerint esedékes átdolgozása alkalmából áttekintve a hazai építési tudomány eredményeit, a következő értékelés adható.

— A méretezéselmélet hazai eredményei megfelelő alapot adnak arra, hogy a biztonsággal, a szerkezetek jelentőségével összefüggő kérdéseket az optimális megoldást megközelítően válaszolhassuk meg. Ide sorolható kérdések például a szerkezetek jelentőségével összefüggő rendeltetési tényezők és az anyagszilárdságok számítási értékének meghatározása.

— A terhek és hatások vizsgálatával összefüggő hazai kutatási eredmények alkalmasak arra, hogy a vonatkozó előírások tudományos alapokra épüljenek. Különösen fontosnak látszik a szélteherrel, a hőteherrel, a földrengés hatásával összefüggő előírások fejlesztése.

— A tartók statikájának gyakorlatban alkalmazott megoldásai általában ideálisan rugalmas, ill. képlékeny modell feltételezésére épülnek. Az előtűnk álló feladat itt a vasbeton tényleges anyagjellemzőit figyelembe vevő megoldások megtalálása. Ebben a vonatkozásban a nemzetközi kutatási eredmények összegyűjtésére, értékelésére és a vonatkozó előírások, gépi programok kidolgozására van szükség.

— A vasbetonszerkezetek, ill. szerkezeti elemek ellenállásával összefüggő hazai eredményeket ki kell egészíteni a KGST és a CEB kutatás tapasztalataival, a nyírási, a csavarási, a repedéstágasság, a fáradás, a dinamikai szilárdság

számítására vonatkozó elméletek területén, az anyagok időtől függő tulajdonságainak fokozott figyelembevételével.

— A beton és a betonacél anyagjellemzői, a beton és az acél együttdolgozására vonatkozó külföldi kutatási eredmények nem mindenben vehetők át a hazai anyagok sajátos tulajdonságai miatt.

— Számításba kell venni, hogy gazdaságossági megfontolásból a jövőben célszerű lesz a nagyobb szilárdságú betonnal építeni. Várható, hogy a $B.200 \div B.280$ helyett a $B.400 \div B.600$ -as szilárdsági jelű betonok alkalmazása válik általánossá. Ezen betonosztályok anyagjellemzőinek kutatása jobbra csak hazai eszközökkel oldható meg.

— Egyik legfontosabb feladat a szerkesztési szabályoknak és a betonacél-szerelések kialakításának a korszerűsítése. Itt kevés hazai tapasztalat áll rendelkezésre, viszont támaszkodhatunk a külföldi, elsősorban a CEB és a KGST keretében végzett kutatások eredményeire. Az új szerkesztési szabályok kidolgozásának a korszerű iparosított vasaláskészítés a feltétele.

4. A kutatás feladatai és a rendelkezésre álló eszközök

Az előttünk álló feladatok részben az anyaggal, energiával, élők munkával — különösen az építéshelyi munkával — való takarékoság igényéből, új anyagok és technológiák bevezetéséből, továbbá a tervezés hatékonyságának és gazdaságosságának fokozásából adódnak. E feladatok teljesítésével nyert eredmények gyakorlati alkalmazása fokozza szerkezeteink megbízhatóságát és élettartamát.

Az előttünk álló, népgazdasági szempontból fontos műszaki fejlesztési feladatsor teljesítésekor a hazai kutatási bázis elméleti és kísérleti tapasztalatait kell elsősorban felhasználni, de élni lehet és kell a nemzetközi együttműködésben rejlő lehetőségekkel is.

4.1 A hazai kutatás fő irányai

A vasbetonszerkezetek mechanikájának kutatásához rendelkezésre álló kapacitást az elkövetkező időszakban a következő feladatokra célszerű összpontosítani.

A műszaki fejlesztés egyik központi célprogramjaként kell kezelni a nagyszilárdságú beton és acél nagyobb mérvű alkalmazását. E komplex műszaki-gazdasági szemléletű kutatás keretében tisztázni kell a nagyszilárdságú beton és betonacél alkalmazásával nyerhető előnyöket (pl. kisebb anyagfelhasználás, kisebb önsúly) és hátrányokat (pl. nagyobb önköltség, nagyobb alakváltozás).

Az MSz KGST szabvány által bevezetett új betonosztályok, továbbá az

elmúlt évek tapasztalatai alapján szükségessé vált napirendre tűzni a vasbeton anyagjellemzőivel kapcsolatosan a következő kérdéseket:

- különös tekintettel a nagyszilárdságú anyagokra, az új betonostályok nyomó-, húzó- szilárdsága és alakváltozási jellemzői;

- a hegeszthető betonacélok, a betonacél-hegesztési technológiák, a hegesztett kapcsolatok mechanikai jellemzői, a hegesztett hálók és vázak kapcsolata a betonnal;

- az igen magas és igen alacsony hőmérsékletnek ellenálló betonok és szerkezetek kutatása;

- az agresszív környezet hatása az anyagok és szerkezetek mechanikai tulajdonságaira;

- a beton anyagjellemzői időben való változásának hatása a szerkezetek terhelhetőségére, minősítésére, különös tekintettel a fiatal betonra.

A teherbírás vonatkozásában a gazdaságosabb és elméletileg megalapozottabb szerkezetek tervezése céljából — különös tekintettel az új építéstechnológiával járó megoldásokra — a kutatást ki kell terjeszteni:

- a komplex teherbírési tartományok meghatározására, különös tekintettel a kombinált (axiális és tangenciális) igénybevételre;

- a vasbeton energia-elnyelésének vizsgálatára lökészerű és alacsony ciklusú ismétlődő igénybevételkor;

- a karcsú oszlopok méretezésére;

- az átszűrődési és felfekvési teherbírás vizsgálatára;

- a vasbeton tartós teherbírasi hatásának meghatározására.

A repedésekkel és az alakváltozásokkal összefüggésben vizsgálatot kell folytatni elsősorban a következő témákban

- a repedések tágasságának számítása terén, különös tekintettel a ferde repedésekre és a hálósan vasalt elemek repedéseire;

- a feszített, külpontosan nyomott, csavart rudak, valamint a felületszerkezetek alakváltozásának számítása terén.

A vasbetonszerkezetek erőjátékával összefüggésben az alábbi témák kutatására van szükség:

- a felületszerkezetek törésmélete;

- a fizikai és geometriai nem-linearitást figyelembevevő, egyszerűsített és direkt tervezésre (nem csak ellenőrzésre) is alkalmas számítási eljárások kifejlesztése;

- a nem-lineáris elmélet alkalmazásának kiterjesztése a dinamikai vizsgálatokra és a nagy alakváltozások esetére;

- olyan elvi mechanikai modellek kialakítása, melyek figyelembe veszik a vasbeton szilárdságtani sajátosságait, ugyanakkor lehetővé teszik a műszaki mechanika általános módszereinek alkalmazását vasbetonszerkezetekre.

A gépi számítástechnikából eredő előnyök fokozottabb kihasználása érdekében a kutatásokat ki kell terjeszteni

- a komplex, a vasalási tervet is magukba foglaló programok kialakítására;
- a közvetlen optimalási eljárások fejlesztésére.

4.2 A nemzetközi együttműködés

A fenti feladatok megoldása csak részben tesz szükségessé új eredményekre törekvő hazai kutatást: mindenekelőtt a nemzetközi eredmények figyelemmel kísérését, elemzését, adaptálását, továbbfejlesztését tűzhetjük ki célul. Így igen értékes, jól hasznosítható eredményekre számíthatunk többek között

- a különleges hatásokra (magas hőmérséklet, agresszív környezet, földrengés).

- az anyagok viselkedésére (többtengelyű feszültségi állapot, kúszás, zsugorodás)

- a szerkezetek erőjátékának pontosabb követésére vonatkozó — általában igen költséges — külföldi kutatások alapján. Az eredmények megszerzésére fordított deviza nagyságrendileg nagyobb kutatási költségek megtakarítását teszi lehetővé. Az információkhoz részben publikációk beszerzése, konferenciákon való részvétel formájában, részben aktív nemzetközi együttműködés keretében juthatunk hozzá.

A vasbeton mechanikája területén a nemzetközi együttműködés leggazdagabb forrása a KGST keretei között immár négy ötéves tervidőszakon át folyó koordinált kutatómunka. Az elkövetkező ötéves időszak továbbra is részt kell vállalnunk ebben a tevékenységben, és fel kell használnunk a más tagországok kutatói által rendelkezésre bocsájtott eredményeket. Ugyancsak intenzív részt kell vállalnunk a KGST szabványosítási tevékenységéből is.

Hatékonyabban kell részt vennünk az Euro-Nemzetközi Beton Bizottság (CEB) munkabizottságainak tevékenységében. Ennek meg kell teremteni a deviza-fedezetét az elkövetkező években.

Célszerű bekapcsolódnunk a földrengésre való méretezéssel foglalkozó nemzetközi tevékenységbe és a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet Betonbizottságának munkájába.

Fel kell használnunk jelenleg is meglevő kapcsolatainkat az Euromech Kollokviumok rendszerével, az IVBH-val, a RILEM-mel a FIP-pel, az IASS-sel.

Bővíteni kell a vasbeton mechanikájával foglalkozó kutatások területén a kétoldalú devizamentes együttműködést különös tekintettel a szocialista országok kétoldalú kapcsolataira.

4.3 A kutatóhelyek személyi és anyagi bázisa

Hazánkban három — egymással együttműködő — hagyományos központja van a vasbeton-mechanika kutatásának: a BME tanszékei (Vasbetonszerkezetek, Szilárdságtan és Tartószerkezetek, Építőanyagok, Építőmérnök-

kari Mechanika) és a MTA Műszaki Mechanikai Tanszéki Munkaközösségének itt működő részei; az ipari tárcák kutató intézetei (ÉTI, ÉMI, KÖTUKI, VATUKI, SZIKKTI, FTV); továbbá a tervező irodák vezető szakemberei (Iparterv, ÁÉTV, Mélyépterv, BUVATI, UVATERV, VIZITERV, TTI, Észak-dunántúli Tervező Vállalat, stb.). Az első két központba tartozó kutatóhelyek rendelkeznek laboratóriummal és a kutatás tárgyi feltételeivel, a tervező irodák főleg szellemi kapacitással rendelkeznek.

Az utóbbi évtizedben kialakult és megerősödött a műszaki főiskolák (Ybl Miklós, Pollack Mihály, Győri Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola) hazai rendszere, és az utóbbi időben ezek intézetei már bekapcsolódtak a vasbetonszerkezetek mechanikájának kutatásába.

A kutatással foglalkozók személyi állománya jó, a tapasztalt és a fiatal kutatók szerencsésen egészítik ki egymást.

Az előbb említett három központban a vasbeton mechanikájával foglalkozók száma az alábbiak szerint becsülhető:

- a műszaki felsőoktatási intézményekben 10 kutató és 30 oktató,
- a főhivatást kutatóintézetekben 30 kutató,
- a tervező irodákban 30 vezető szerkezettervező.

Ezeket a számokat úgy kell értelmezni, hogy a fenti szakembereket esetlegesen egyéb tevékenységük *mellett* vasbeton-mechanikai kutatással is foglalkoznak.

A laboratóriumi műszerhelyzetet vizsgálva meg kell állapítani, hogy a BME Építőipari laboratóriumának és az ÉTI Szentendrei laboratóriumának megvalósítása jelentős előrelépést jelentett. A továbbiak során főleg e két nemzetközileg is korszerűnek tekinthető laboratóriumot kell világszínvonalra fejleszteni, fokozva és elmélyítve a közöttük már eddig is fennálló együttműködést. Elsősorban a dinamikai vizsgálatokhoz szükséges berendezéseket kell fejleszteni, és fokozott jelentőséget kell tulajdonítani a természetes anyagú és méretű modellek vizsgálatának.

A főiskolák, az ÉMI vidéki laboratóriumai is sokat tehetnek területükön a kutatások fejlesztéséért, hiszen a valószínűségelmélet további alkalmazásának legnagyobb akadálya a statisztikailag értékelhető, tömeges adatok hiánya.

Az utóbbi évek tendenciái bizonyos mértékig nehezítették a kutatás finanszírozását: csökkentek a központi műszaki fejlesztési alapok, ugyanakkor növekedtek a kutatás költségei az oktatási intézményekben és a főhivatású kutatóhelyeken egyaránt.

A vállalatok figyelmét fel kell hívni, hogy a kutatásra fordított összegek sokszorosan megterülnek; sok olyan elvi jelentőségű probléma van azonban, amelynek finanszírozása központi keretektől indokolt.

4.4 A további együttműködés lehetőségei

Az együttműködés a vasbeton-mechanika kutatásában résztvevők között az elmúlt időszakban sok közös cél elérését tette lehetővé. A továbbiakban az együttműködés fokozásával, a szellemi és anyagi erőfeszítések koncentrációjával kell az eredményeket elmélyíteni.

Növelni kell az egyes kutatási témák megindításakor, munkaközi megvitatásakor, lezárásakor az alkotó tudományos vitákat. A kutatás során nagy figyelmet kell fordítani a hasznosítás, alkalmazás kérdéseire. A műszaki fejlesztés igényeit messzemenően figyelembe kell venni.

Kíváncsok volna rendszeres fórumot — pld. kétévenként megrendezésre kerülő szemináriumot — létrehozni a tudományos eredmények ismertetésére és megvitatására.

Ezen a szemináriumokon bemutatott eredményekről célszerű lenne magyar és idegennyelvű gyűjteményes kötetet kiadni.

Növelni kellene az idegen nyelvű publikációk számát és hatékonyságát.

Az eredmények ismertetésére fel kell használni a szakmai tudományos egyesületek (KTE, ÉTE) fórumait.

A kutatási eredményeket a leghatékonyabban a különböző műszaki szabályozási kiadványokban: szabványokban, műszaki előírásokban, tervezési segédletekben lehet közkinccsé tenni; ezen kiadványok tervszerű korszerűsítése, időszakos felülvizsgálata egyben a hazai kutatómunka legfőbb szervező ereje.

5. A vasbetonmechanikai kutatásokat folytató hazai intézmények

A tanulmány az alábbi intézmények által készített beszámoló jelentések felhasználásával készült:

5.1 Kutató Intézetek

Építéstudományi Intézet,
Építésügyi Minőségellenőrző Intézet,
Közúti Közlekedési Tudományos Kutató Intézet,
Központi Bányászati Fejlesztési Intézet;

5.2 Egyetemek és főiskolák

BME Építőanyagok Tanszéke,
BME Építőmérnöki Kari Mechanika Tanszék,
BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék,
BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke,
Pollack Mihály Műszaki Főiskola,
Ybl Miklós Műszaki Főiskola;

5.3 Tervező vállalatok

Budapesti Városépítési Tervező Vállalat,
Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat,
Ipari Épülettervező Vállalat,
Mélyépítési Tervező Vállalat,
Út-, Vasúttervező Vállalat;

5.4 Ipari Vállalat

Beton- és Vasbetonipari Művek;

5.5 Egyéb

MTA doktori és kandidátusi értekezések.

Results and Problems of the Research on the Mechanics of Reinforced Concrete Structures in Hungary. — The paper presents a historical review on the situation of the r. c. construction in foreign countries and in Hungary. In this context it treats the structural parts constituting the r. c. structures, prestressing, prefabrication methods of the monolithic construction as well as shell structures. Special attention is given to the trend of development of particular effects getting recently major significance, the work performed in Hungary in the fields on the mechanical properties of concrete and reinforcing steel, bearing capacity of the structural members, their deformations and crackings, the effects of dynamic and repeated loadings, the stress pattern of the r. c. constructions and computerized design are detailed. Also the utilization of the results of the research investigation in developing the standards of designing and dimensioning reinforced concrete structures are dealt with in a detailed way. In this connection, the reciprocity of the research work and standardization are thoroughly examined and the requirements in connection with the programs of research investigation due to the problem to be solved by standardization are discussed. The principal trends in this development work in Hungary and the ways of utilization of the potentialities in the cooperation with the foreign countries are determined. Finally the financial and staff bases of the research establishments in connection with the task to be fulfilled are dealt with and the authors draw the attention to the possibilities which are to be found in closer cooperation.

Ergebnisse und Aufgaben der Forschung über die Mechanik der Stahlbetonkonstruktionen in Ungarn. — Nach einer geschichtlichen Übersicht über die Situation des Stahlbetonbaus im Ausland und in Ungarn werden die Entwicklung der Konstruktionselemente der Stahlbetonkonstruktion, der Vorspannung, Vorfertigung, der monolithischen Baumethoden und der Flächenkonstruktionen behandelt. Eine besondere Aufmerksamkeit wird auf die Entwicklungstendenz der neulich eine immer größere Wichtigkeit erreichenden Wirkungen, der Bemessungstheorie und der maschinellen Rechnungstechnik gerichtet. Die durch die in den letzten Jahren in Ungarn durchgeführten Forschungsarbeit auf den Gebieten der mechanischen Eigenschaften des Betons und Betonstahls, der Tragfähigkeit der Konstruktionselemente, der Verformungen und Risse derselben, der Wirkung der dynamischen oder Ermüdungsbeanspruchungen, des Kraftspiels der Stahlbetonkonstruktionen und auf dem Gebiet der Entwurfsarbeit erzielten Ergebnisse werden ausführlich erörtert. Ein bedeutender Teil der Abhandlung wird der Benutzung der Forschungsergebnisse in der Verfassung von Stahlbetonentwurfs- und Bemessungsnormen gewidmet, und die Wechselwirkungen zwischen der Forschung und Normierung wird untersucht, und durch die Normierungsaufgaben aufgestellte Forschungsanforderungen werden vorgeführt. Die Abhandlung definiert die Haupttendenzen der ungarischen Forschungsarbeit, sowie die Benutzungsarten der in der internationalen Zusammenarbeit verborgenen Möglichkeiten. Schließlich werden im Zusammenhang mit den Aufgaben die Finanziellen und Personalbasis der Forschungsstellen behandelt und die Aufmerksamkeit auf die weitere Möglichkeiten der Kooperation gelenkt.

EGY TÉTEL AZ ALAKVÁLTOZÁSI ENERGIÁVAL KAPCSOLATBAN

ECSEDI ISTVÁN*

[Beérkezett: 1979. május 31]

A tanulmány tárgya egy egyenlőtlenségi reláció bizonyítása a lineárisan rugalmas anyagú test alakváltozási energiájával kapcsolatban.

A lineárisan rugalmas anyagú test véges merev testszerű elmozdulását súrlódás nélküli kényszerek (befalazás, csukló, görgős alátámasztás stb) teszik lehetetlenné. A test $P_1, P_2, \dots, P_k, P_{k+1}, \dots, P_n$ pontjain támadó $F_1, F_2, \dots, F_k, F_{k+1}, \dots, F_n$ erők hatásvonalai rendre az $e_1, e_2, \dots, e_k, e_{k+1}, \dots, e_n$ egyenesek (1. ábra).

A $P_1, P_2, \dots, P_k, P_{k+1}, \dots, P_n$ pontok elmozdulásainak $e_1, e_2, \dots, e_k, e_{k+1}, \dots, e_n$ irányú vetületei $u_1, u_2, \dots, u_k, u_{k+1}, \dots, u_n$. A test $F_1, F_2, \dots, F_k, F_{k+1}, \dots, F_n$ erőcsoporthoz tartozó alakváltozási energiáját jelölje $U(F_1, F_2, \dots, F_k, F_{k+1}, \dots, F_n)$.

Változtatlan megtámasztási feltételeket véve, jelölje a fentiekben szereplő test alakváltozási energiáját $U(F'_1, F'_2, \dots, F'_k)$, ha a P_1, P_2, \dots, P_k pontokon e_1, e_2, \dots, e_k hatásvonálú F'_1, F'_2, \dots, F'_k aktív erők működnek. A P_1, P_2, \dots, P_k pontok elmozdulásainak e_1, e_2, \dots, e_k irányú vetületeit ez esetben u'_1, u'_2, \dots, u'_k jelöli (2. ábra).

A tanulmány a következő tételt igazolja az alakváltozási energiával kapcsolatban.

Tétel

Ha a P_1, P_2, \dots, P_k pontok és a rajtuk átmenő e_1, e_2, \dots, e_k egyenesek adottak, és

$$u_1 = u'_1, u_2 = u'_2, \dots, u_k = u'_k, \quad (1)$$

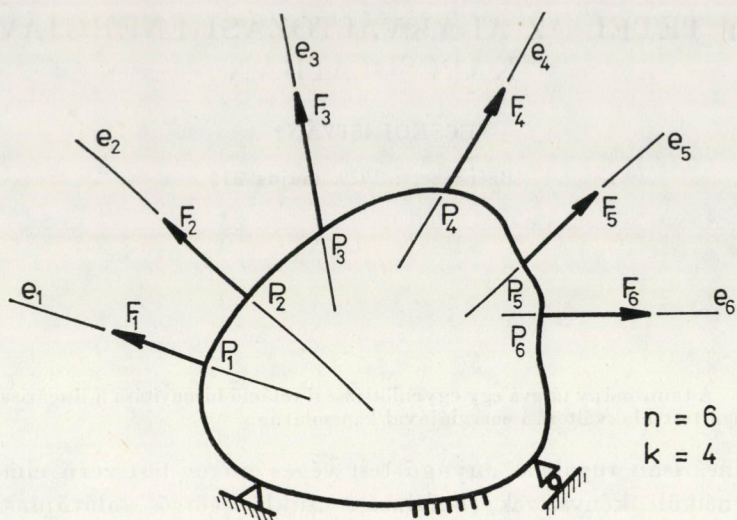
akkor

$$U(F_1, F_2, \dots, F_k, F_{k+1}, \dots, F_n) \geq U(F'_1, F'_2, \dots, F'_k). \quad (2)$$

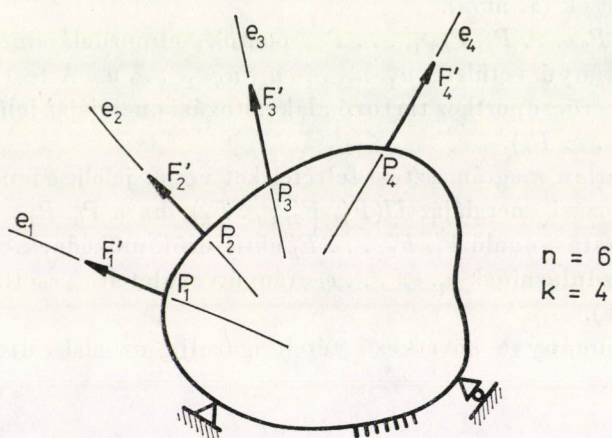
Más szóval, ha a két erőrendszer azonos nagyságú erőirányú elmozdulásokat okoz a P_1, P_2, \dots, P_k pontokban, akkor lesz a test alakváltozási energiája a kisebb, ha az aktív erők csak a P_1, P_2, \dots, P_k pontokban működnek.

A tétel alkalmazását tartó szerkezetre a 3. ábra szemlélteti.

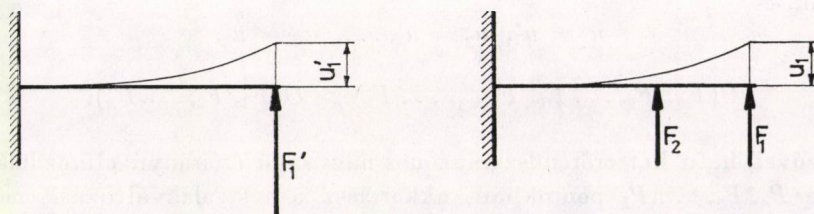
* Dr. Ecsedi István, H-3531 Miskolc, Vászonfehéritő u. 24. IV/1.



1. ábra. $F_1, F_2, \dots, F_k, F_{k+1}, \dots, F_n$ aktív külső erőkkel terhelt rugalmas test



2. ábra. F'_1, F'_2, \dots, F'_k aktív külső erőkkel terhelt rugalmas test



$$u'_1 = u_1$$

$$U(F'_1) \leq U(F_1, F_2)$$

3. ábra. Tartó szerkezet

Bizonyítás

A bizonyítást $n = 3, k = 2$ esetre végezzük. E korlátozás nyilván nem érinti a bizonyítás teljességét.

A c_{ij} Maxwell-féle hatásszámok bevezetésével az

$$u_1 = u'_1, \quad u_2 = u'_2 \quad (3)-(4)$$

egyenletek a következőképpen írhatók fel:

$$c_{11}(F_1 - F'_1) + c_{12}(F_2 - F'_2) + c_{13}F_3 = 0, \quad (5)$$

$$c_{21}(F_1 - F'_1) + c_{22}(F_2 - F'_2) + c_{23}F_3 = 0. \quad (6)$$

Az (5), (6) képletek értelmezhetők úgy is, hogy a

$$f_1 = F_1 - F'_1, \quad f_2 = F_2 - F'_2 \quad (7), (8)$$

és F_3 aktív erőket működtetve, a P_1, P_2, P_3 pontokban a P_1 és P_2 pontok elmozdulásainak e_1 és e_2 irányú w_1 és w_2 vetületei zérusok, azaz $w_1 = w_2 = 0$.

Az F_1, F_2, F_3 aktív erőkből álló erőcsoportot két lépcsőben visszük fel. Első lépcsőben az F'_1, F'_2 erőket, a második lépcsőben pedig az f_1, f_2, F_3 aktív külső erőket működtetjük a testre.

Az $F_1 = F'_1 + f_1, F_2 = F'_2 + f_2, F_3$ erőcsoport esetében a test alakváltozási energiája $U(F_1, F_2, F_3)$. Az elasztosztatika jól ismert tétele alapján [1]

$$U(F_1, F_2, F_3) = U(F'_1, F'_2) + U_{12} + U(f_1, f_2, F_3). \quad (9)$$

A (9) képletben szereplő $U_{12} = W_{12}$ idegen alakváltozási energia zérus, hiszen

$$W_{12} = F'_1 w_1 + F'_2 w_2 = 0. \quad (10)$$

A (9) és (10) egyenletek kombinálásával az

$$U(F_1, F_2, F_3) = U(F'_1, F'_2) + U(f_1, f_2, F_3) \quad (11)$$

eredményt nyerjük. A (11) képletből a bizonyítandó

$$U(F_1, F_2, F_3) \geq U(F'_1, F'_2), \quad (12)$$

$$(u_1 = u'_1, \quad u_2 = u'_2)$$

egyenlőtlenségi relációt kapjuk, ha tekintettel vagyunk az $U(f_1, f_2, F_3)$ alakváltozási energia nem negatív voltára [1]:

$$U(f_1, f_2, F_3) \geq 0. \quad (13)$$

IRODALOM

1. SOKOLNIKOFF, I. S.: *Mathematical Theory of Elasticity*. Sec. Ed. McGraw-Hill, 1956. p. 85, p. 390—393

A Theorem Relating to the Strain Energy. — The subject of the paper is the verification of an inequality relation in connection with the strain energy of a body of linearly elastic material.

Ein Lehrsatz in Zusammenhang mit der Verformungsenergie. — In der Abhandlung wird eine Ungleichheitsrelation in Zusammenhang mit der Verformungsenergie eines Körpers aus linearelastischem Material bewiesen.

Helyreigazítás

CSONKA PÁL: „Lapos héjak nyúlásmentes alakváltozásának néhány különleges esete” című tanulmányában (*Műszaki Tudomány*, 57. kötet)

a 418. oldalon a (8) képlet első sorában

$$K\Delta\Delta F \text{ helyett } K\Delta\Delta w,$$

a 418. oldalon a (9) képlet jobb oldalán

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \text{ helyett } \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

írandó.

TARTALOMJEGYZÉK

Megemlékezés Hevesi Gyula akadémikusról.....	1
Megemlékezés Csanádi György akadémikusról	3

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA 1980. MÁJUS 6-I NYILVÁNOS OSZTÁLYÜLÉSE

Bognár Géza: A Műszaki Tudományok Osztályának beszámolója az 1976—1979 évi tevékenységről	7
---	---

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA 1980. ÉVI KÖZGYÜLÉSI TUDOMÁNYOS ÜLÉSE 1980. MÁJUS 6-ÁN

Juhász Ádám: Az alumínium és a színesfémkohászat energotechnológiai helyzete és fejlesztési irányai	41
Korreferens: Zámbo János	61
Farkas Ottó: A vasmetallurgia technológiai és energetikai helyzete	67
Korreferensek: Horváth János és Répási Gellért.....	83
Csonka Pál: Az egyik végén rugalmasan befogott rúd stabilitásáról	97
ifj. Gáspár László: Aszfalthurkolatú utak állapotfélétele	109
Ecsedi István: Néhány energiatétel a rugalmas testek dinamikájában	125
Lámer Géza: Hengerszimmetrikus és sík feladatokról	139
Szabó Imre: Az egyszerű nyírás elve, kísérleti technikája. Reológiai vizsgálatok egyszerű nyírógéppel	165
Domokos Miklós: A tározószámítás tömeggörbe-módszerei és ezek összehasonlítása a rendszertechnikai módszerekkel	189
Ecsedi István: Laplace transzformáció alkalmazása a rugalmasságtan dinamikai feladatainak megoldására I.	217
Nikodémusz Antal—Pethő Szilveszter: Szilárd szemcse mozgástörvénye centrifugális erőterben a Newton-féle közegellenállás esetében	223
Tóth György: Kiegészítések a Trefftz—Fichera-módszer rezgésproblémákra történő alkalmazásához	233
Szalai Kálmán—Deák György—Lenkei Péter: A vasbetonszerkezetek mechanikájával foglalkozó hazai kutatás eredményei és feladatai	247
Ecsedi István: Egy tétel az alakváltozási energiával kapcsolatban	269

CONTENT

Commemoration of <i>Gy. Hevesi</i> Member of the Hung. Ac. of Sci.	1
Commemoration of <i>Gy. Csanádi</i> Member of the Hung. Ac. of Sci.	3

OPEN DEPARTMENT SESSION OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES OF THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES HELD ON MAY 6TH 1980

<i>Bognár, G.</i> : Report on the Activity of the Department of Technical Sciences in the Years 1976 to 1979	7
---	---

SCIENTIFIC MEETING OF THE GENERAL ASSEMBLY OF 1980 OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES OF THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES HELD ON 6TH MAY 1980

<i>Juhász, Á.</i> : Energetics and Trends in the Development of the Metallurgy of Aluminium and Coloured Metals	41
Fellow reporter: <i>Zámbó, J.</i>	61
<i>Farkas, O.</i> : Technological and Energetical Situation of Iron Metallurgy	67
Fellow reporters: <i>Horváth, J.</i> and <i>Répási, G.</i>	83
<i>Csonka, P.</i> : Stability of a Bar Elastically Built-in at one of its Ends	97
<i>Gáspár, L. jr.</i> : State Evaluation of Roads of Bituminous Pavement	109
<i>Ecsedi, I.</i> : Some Energy Theorems in the Dynamics of Elastic Solids	125
<i>Lámer, G.</i> : Cylinder-symmetrical and Plane Problems	139
<i>Szabó, I.</i> : The Principle of Simple Shear and its Testing Technique. Rheological Research Investigation by Using Simple Shear Mechanism	165
<i>Domokos, M.</i> : Mass.-curve Methods for Calculating Storage Basins and their Compari- son by System-technique Methods	189
<i>Ecsedi, I.</i> : Applying the Laplace Transformation to the Solution of the Dynamic Problems of the Theory of Elasticity	217
<i>Nikodémusz, A.</i> — <i>Pethő, Sz.</i> : Law of Motion of Particles in a Centrifugal Field in Case of Newtonian Medium-resistance	223
<i>Tóth, Gy.</i> : Contribution to the Application of the Trefftz—Fichera-method to Vibration Problems	233
<i>Szalai, K.</i> — <i>Deák, Gy.</i> — <i>Lenkei, P.</i> : Results and Problems of the Research Investigation on the Mechanics of Reinforced Concrete Structures in Hungary	247
<i>Ecsedi, I.</i> : A Theorem Relating to the Strain Energy	269

INHALTSVERZEICHNIS

Erinnerung an Gy. Hevesi ord. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften	1
Erinnerung an Gy. Csanádi ord. Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften	3

ÖFFENTLICHE ABTEILUNGSKONFERENZ DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN, ABGEHALTEN AM 6. MAI 1980

<i>Bognár, G.</i> : Bericht über die Tätigkeit der Abteilung der Technischen Wissenschaften von den Jahren 1976—1979	7
--	---

WISSENSCHAFTLICHE JAHRESSITZUNG DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN DER UNGARISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ABGEHALTEN AM 6. MAI 1980

<i>Juhász, Á.</i> : Energietechnologische Verhältnisse und Entwicklungstendenz in der Metallurgie des Aluminiums und des Buntmetalle	41
Korreferent: <i>Zámbó, J.</i>	61
<i>Farkas, O.</i> : Technologische und energetische Situation der Eisenmetallurgie	67
Korreferenten: <i>Horváth, J.</i> und <i>Répási, G.</i>	83
<i>Csonka, P.</i> : Stabilität des an einem Ende elastisch eingespannten Stabes	97
<i>Gáspár, L. jr.</i> : Zustandsaufnahme mit Asphaltbelag bedeckter Straßen	109
<i>Ecsedi, I.</i> : Einige Energiesätze in der Dynamik der elastischen Körper	125
<i>Lámer, G.</i> : Über die zylindersymmetrischen und ebenen Aufgaben	139
<i>Szabó, I.</i> : Das Prinzip und die Versuchstechnik des einfachen Shubs. Rheologische Untersuchungen mit Hilfe eines einfachen Schubinstrumente	165
<i>Domokos, M.</i> : Massenkurvenmethoden der Speicherberechnung und Vergleich derselben mit den systemtechnischen Methoden	189
<i>Ecsedi, I.</i> : Anwendung der Laplace-Transformation zur Lösung der dynamischen Aufgaben der Elastizitätslehre	217
<i>Nikodémusz, A.</i> — <i>Pethő, Sz.</i> : Bewegungsgesetz der festen Partikeln im zentrifugalen Kraftfeld im Fall der Newtonschen Strömungswiderstand	223
<i>Tóth, Gy.</i> : Ergänzungen zur Anwendung für Schwingungsprobleme der Methode Treffitz—Fichera	233
<i>Szalai, K.</i> — <i>Deák, Gy.</i> — <i>Lenkei, P.</i> : Ergebnisse und Aufgaben der Forschung über die Mechanik der Stahlbetonkonstruktionen in Ungarn	247
<i>Ecsedi, I.</i> : Ein Lehrsatz in Zusammenhang mit der Verformungsenergie	269

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

Műszaki szerkesztő: Sándor István

A kézirat nyomdába érkezett: 1981. április 28. — Terjedelem: 24,15 (A/5) fv

82.9592 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

3. táblázat

	Síkbeli feladat	Szimmetrikus síkbeli feladat	Sík alakváltozási állapot	Sík feszültségi állapot	Általános sík alakváltozási állapot	Általános sík feszültségi állapot
u	$u_0 + C_6 y z + C_1 z + C_u +$ $+ a_{11} x^2 + a_{12} x y + a_{13} y^2 + \frac{C_3}{2} z^2$	$u_0 + C_1 z + C_u +$ $+ a_{11} x^2 + a_{12} x y + a_{13} y^2 + \frac{C_3}{2} z^2$	$u_0 + C_1 z + C_u$	$u_0 + a_1 x + C_1 z + C_u + a_{11} x^2 +$ $+ \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_4 - 2a_{23} \right) x y - \left(\frac{3\lambda + 2G}{2x} C_3 + a_{11} \right) y^2 + \frac{C_3}{2} z^2$	$u_0 - \frac{\partial w_0}{\partial x} z$	$u_0 - \frac{\partial w_0}{\partial x} z - \frac{\lambda}{\lambda + 2G} \nabla_0^2 u_0 \frac{z^2}{2}$
v	$v_0 - C_3 x z + C_2 z + C_v +$ $+ a_{21} x^2 + a_{22} x y + a_{23} y^2 + \frac{C_4}{2} z^2$	$v_0 + C_2 z + C_v +$ $+ a_{21} x^2 + a_{22} x y + a_{23} y^2 + \frac{C_4}{2} z^2$	$v_0 + C_2 z + C_v$	$v_0 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_5 - a_1 \right) y + C_2 z + C_v -$ $- \left(\frac{3\lambda + 2G}{2\lambda} C_4 + 2a_{23} \right) x^2 + \left(\frac{\lambda + 2G}{\lambda} C_3 - 2a_{11} \right) x y + a_{23} y^2 + \frac{C_4}{2} z^2$	$v_0 - \frac{\partial w_0}{\partial y} z$	$v_0 - \frac{\partial w_0}{\partial y} z - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} \nabla_0^2 v_0 \frac{z^2}{2}$
w	$w_0 - (C_3 x + C_4 y + C_5) z -$ $- (C_1 x + C_2 y + C_w)$	$- (C_3 x + C_4 y + C_5) z -$ $- (C_1 x + C_2 y + C_w)$	$- (C_1 x + C_2 y + C_w)$	$- (C_3 x + C_4 y + C_5) z - (C_1 x + C_2 y + C_w)$	w_0	$w_0 - \frac{\lambda}{\lambda + 2G} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) z$
Redukált Lamé-féle egyenletek	$(\lambda + G) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) + G \left(\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} \right) = 0$ $(\lambda + G) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) + G \left(\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} \right) = 0$		$\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} = 0$ $\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} = 0$ $\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} = 0$		$(\lambda + 2G) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) + G \left(\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} \right) = 0$ $(\lambda + 2G) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) + G \left(\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} \right) = 0$	$(3\lambda + 2G) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) + (\lambda + 2G) \left(\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} \right) = 0$ $(3\lambda + 2G) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} \right) + (\lambda + 2G) \left(\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} \right) = 0$
	$\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} = 0$					$\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} = 0$

1. táblázat

ben létesíthető vízlgyzárógát tározójával kapcsolatos feladatok megoldása tömeggörbe módszerekkel. Részlet

(A táblázat (3)—(19) oszlopában lévő mennyiségek mértékegysége: m³/s)

2. feladat: $q_1 = 5,50 \text{ m}^3/\text{s}, R^* = 100\%$		3. feladat: $R_3 = f_R(x(t), q_3 = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}, K_3 = 61 \cdot 10^6 \text{ m}^3)$ $K_3/\Delta t = 23,20 \text{ m}^3/\text{s}$				4. feladat: $R_4 = f_R(x(t), q_4(t), K_4 = 61 \cdot 10^6 \text{ m}^3); \bar{q}_4 = 4,40 \text{ m}^3/\text{s}$ $K_4/\Delta t = 23,20 \text{ m}^3/\text{s}$					5. feladat: $y_{\text{opt}}(t) = y(x(t), K_5 = 122 \cdot 10^6 \text{ m}^3); \text{Var}[y(t)] = \min$ $K_5/\Delta t = 46,40 \text{ m}^3/\text{s}$	
$x_i - y_i$	$\frac{Z_i}{\Delta t} = \sum_{j=1}^i x_{j,i}$	y_i	$x_i = x_i - y_i$	$\frac{Z_i}{\Delta t} = \sum_{j=1}^i x_j$	$\Delta q_i = \min(0, y_i - q_i)$	q_i	y_i	$x_i = x_i - y_i$	$\frac{Z_i}{\Delta t} = \sum_{j=1}^i x_j$	$\Delta q_i = \min(0, y_i - q_i)$	$y_{\text{opt},i}$	$y_{\text{opt},i}$
(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
−1,23	−1,23	4,27	0,00	0,00	—	2,00	4,27	0,00	0,00	—	+8,85	4,34
−2,63	−3,86	4,00	−1,13	−1,13	—	2,00	2,87	0,00	0,00	—	+6,18	4,34
−0,08	−3,94	4,29	+1,13	0,00	—	2,00	5,42	0,00	0,00	—	+3,50	4,34
+3,94	0,00	12,71	0,00	0,00	—	3,60	12,71	0,00	0,00	—	+0,83	4,34
0,00	0,00	7,90	0,00	0,00	—	6,00	7,90	0,00	0,00	—	−1,85	4,34
−1,52	−1,52	4,00	−0,02	−0,02	—	8,70	8,70	−4,72	−4,72	—	−4,88	3,98
−3,01	−4,53	4,00	−1,51	−1,53	—	10,20	10,20	−5,71	−10,43	—	+7,91	3,97
−3,16	−7,69	4,00	−1,66	−3,19	—	7,70	7,70	−5,36	−15,79	—	−10,94	3,97
−4,14	−11,83	4,00	−2,64	−5,83	—	4,30	4,30	−2,94	−18,73	—	−13,97	3,97
−3,97	−15,80	4,00	−2,47	−8,30	—	3,20	3,20	−1,67	−20,40	—	−17,00	3,97
−3,91	−19,71	4,00	−2,41	−10,71	—	2,00	2,00	−0,41	−20,81	—	−20,03	3,97
−4,01	−23,72	4,00	−2,51	−13,21	—	2,00	2,00	−0,51	−21,32	—	−23,06	3,97
−4,03	−27,75	4,00	−2,53	−15,74	—	2,00	2,00	−0,53	−21,85	—	−26,09	3,97
−3,96	−31,71	4,00	−2,46	−18,20	—	2,00	2,00	−0,46	−22,31	—	−29,12	3,97
−2,86	−34,57	4,00	−1,36	−19,56	—	2,00	2,00	+0,64	−21,67	—	−32,15	3,97
−3,84	−38,41	4,00	−2,34	−21,90	—	3,60	3,19	−1,53	−23,20	−0,41	−35,18	3,97
−3,76	−42,17	3,04	−1,30	−23,20	−0,96	6,00	1,74	0,00	−23,20	−4,26	−38,21	3,97
−2,52	−44,69	2,98	0,00	−23,20	−1,02	8,70	2,98	0,00	−23,20	−5,72	−41,24	3,97
−2,16	−46,85	3,34	0,00	−23,20	−0,66	10,20	3,34	0,00	−23,20	−6,96	−44,27	3,97
−3,97	−50,82	1,53	0,00	−23,20	−2,47	7,70	1,53	0,00	−23,20	−6,17	−47,30	3,97
−4,09	−54,91	1,41	0,00	−23,20	−2,59	4,30	1,41	0,00	−23,20	−2,89	−50,33	3,97
−3,71	−58,62	1,79	0,00	−23,20	−2,21	3,20	1,79	0,00	−23,20	−1,41	−53,37	3,97
+2,52	−56,10	4,00	+4,02	−19,18	—	2,00	2,00	+6,02	−17,18	—	−56,40	3,97
−0,46	−56,56	4,00	+1,04	−18,80	—	2,00	2,00	+3,04	−14,14	—	−59,43	3,97
−2,94	−59,50	4,00	−1,44	−20,24	—	2,00	2,00	+0,56	−13,58	—	−62,46	3,97
−3,52	−63,02	4,00	−2,02	−22,26	—	2,00	2,00	−0,02	−13,60	—	−65,49	3,97
−0,31	−63,33	4,00	+1,19	−21,07	—	2,00	2,00	+3,19	−10,41	—	−68,52	3,97
−2,02	−65,35	4,00	−0,52	−21,59	—	3,60	3,60	−0,12	−10,53	—	−71,55	3,97
−3,40	−68,75	3,71	−1,61	−23,20	−0,29	6,00	6,00	−3,90	−14,43	—	−74,58	3,97
−3,75	−72,50	1,75	0,00	−23,20	−2,25	8,70	8,70	−6,95	−21,38	—	−77,61	3,97
−3,60	−76,10	1,90	0,00	−23,20	−2,10	10,20	3,72	−1,82	−23,20	−6,48	−80,64	3,97
−3,79	−79,89	1,71	0,00	−23,20	−2,29	7,70	1,71	0,00	−23,20	−5,99	−83,67	3,97
−3,52	−83,41	1,98	0,00	−23,20	−2,02	4,30	1,98	0,00	−23,20	−2,32	−86,70	3,97
−3,77	−87,18	1,73	0,00	−23,20	−2,27	3,20	1,73	0,00	−23,20	−1,47	−89,73	3,97
−3,13	−90,31	2,37	0,00	−23,20	−1,63	2,00	2,00	+0,37	−22,83	—	−92,76	3,97
−1,59	−91,90	3,91	0,00	−23,20	−0,09	2,00	2,00	+1,91	−20,92	—	−95,79	3,97
−1,83	−93,73	3,67	0,00	−23,20	−0,33	2,00	2,00	+1,67	−19,25	—	−98,82	3,97
+1,04	−92,69	4,00	+2,54	−20,66	—	2,00	2,00	+4,54	−14,71	—	−101,85	3,97
+3,94	−88,75	4,00	+5,44	−15,22	—	2,00	2,00	+7,44	−7,27	—	−104,88	3,97
+0,11	−88,64	4,00	+1,61	−13,61	—	3,60	3,60	+2,01	−5,26	—	−107,91	3,97
+1,35	−87,29	4,00	+2,85	−10,76	—	6,00	6,00	+0,85	−4,41	—	−110,94	3,97
−2,16	−89,45	4,00	−0,66	−11,42	—	8,70	8,70	−5,36	−9,77	—	−113,97	3,97
−3,64	−93,09	4,00	−2,14	−13,56	—	10,20	10,20	−8,34	−18,11	—	−117,00	3,97
−3,87	−96,96	4,00	−2,37	−15,93	—	7,70	6,72	−5,09	−23,20	−0,98	−120,03	3,97
−3,98	−100,94	4,00	−2,48	−18,41	—	4,30	1,52	0,00	−23,20	−2,78	−123,07	3,97
−3,97	−104,91	4,00	−2,47	−20,88	—	3,20	1,53	0,00	−23,20	−1,67	−126,10	3,97
−3,92	−108,83	3,90	−2,32	−23,20	−0,10	2,00	1,58	0,00	−23,20	−0,42	−129,13	3,97
−3,17	−112,00	2,33	0,00	−23,20	−1,67	2,00	2,00	+0,33	−22,87	—	−132,16	3,97
+8,65	−103,35	4,00	+10,15	−13,05	—	2,00	2,00	+12,15	−10,72	—	−130,41	8,76
+17,63	−85,72	10,08	+13,05	0,00	—	2,00	12,41	+10,72	0,00	—	−128,66	8,76
0,00	0,00	10,70	0,00	0,00	—	10,20	10,70	0,00	0,00	—	+17,02	8,27
0,00	0,00	5,81	0,00	0,00	—	7,70	7,70	−1,89	−1,89	—	+15,92	5,91
−2,38	−2,38	4,00	−0,88	−0,88	—	4,30	4,30	−1,18	−3,07	—	+14,82	5,91
−2,42	−4,80	4,00	−0,92	−1,80	—	3,20	3,20	−0,12	−3,19	—	+13,73	5,91
−3,09	−7,89	4,00	−1,59	−3,39	—	2,00	2,00	+0,41	−2,78	—	+12,63	5,91
−1,86	−9,75	4,00	−0,36	−3,75	—	2,00	2,00	+1,64	−1,14	—	+11,53	5,91
−1,23	−10,98	4,00	+0,27	−3,48	—	2,00	3,13	+1,14	0,00	—		
−2,63	−13,61	4,00	−1,13	−4,61	—	.	.	.	.	—
−0,08	−13,69	4,00	+1,42	−3,19	—	.	.	.	.	—
+7,21	−6,48	9,52	+3,19	0,00	—	.	.	.	.	—
+2,40	−4,08	.	.	.	—	.	.	.	.	—
.	—	—		
.	—	—		
−1,52	−116,08	.	.	.	—	.	.	.	.	—
.	—	—		
.	—	—		
$t, \text{min} / \Delta t = -116,08$		$\sum_{i=1}^n \Delta q_i = -24,95$				$\sum_{i=1}^n \Delta q_i = -100,01$						
$= \Delta t \cdot [z_{t, \text{min}} / \Delta t] = 2,63 \cdot 10^6 \cdot 116,08 = 325 \cdot 10^6 \text{ m}^3$		$R_3 = 100 \left[1 + \frac{\sum \Delta q_i}{n \cdot q_3} \right] = 100 \left[1 - \frac{24,95}{564 \cdot 4,0} \right] = 99\%$				$R_4 = 100 \left[1 + \frac{\sum \Delta q}{n \cdot \bar{q}_4} \right] = 100 \left[1 - \frac{100,01}{564 \cdot 4,4} \right] = 96\%$						

A Bódva 37.9 fkm szelvény

i	t_i [év, hó]	x_i	1. feladat: $K_1 = f_K(x(t), q_1 = \bar{x} = 7,01 \text{ m}^3/\text{s}, R^* = 100\%)$		$K_2 = f_K(x(t))$
			$x_{0,i} = x_i - \bar{x}$	$\frac{Z_{0,i}}{\Delta t} = \sum_{f=1}^i x_{0,f}$	y_i
				(4)		(5)	(6)
(1)	(2)	(3)			
1	1932 I.	4,27	−2,74	−2,73	5,50
2	II.	2,87	−4,14	−6,87	5,50
3	III.	5,42	−1,59	−8,45	5,50
4	IV.	12,71	+5,70	−2,75	8,77
5	V.	7,90	+0,89	−1,85	7,90
6	VI.	3,98	−3,03	−4,88	5,50
7	VII.	2,49	−4,52	−9,39	5,50
8	VIII.	2,34	−4,67	−14,06	5,50
9	IX.	1,36	−5,65	−19,70	5,50
10	X.	1,53	−5,48	−25,18	5,50
11	XI.	1,59	−5,42	−30,59	5,50
12	XII.	1,49	−5,52	−36,11	5,50
13	1933 I.	1,47	−5,54	−41,64	5,50
14	II.	1,54	−5,47	−47,11	5,50
15	III.	2,64	−4,37	−51,47	5,50
16	IV.	1,66	−5,35	−56,82	5,50
17	V.	1,74	−5,27	−62,08	5,50
18	VI.	2,98	−4,03	−66,11	5,50
19	VII.	3,34	−3,67	−69,77	5,50
20	VIII.	1,53	−5,48	−75,24	5,50
21	IX.	1,41	−5,60	−80,84	5,50
22	X.	1,79	−5,22	−86,05	5,50
23	XI.	8,02	+1,01	−85,04	5,50
24	XII.	5,04	−1,97	−87,00	5,50
25	1934 I.	2,56	−4,45	−91,45	5,50
26	II.	1,98	−5,03	−96,47	5,50
27	III.	5,19	−1,82	−98,29	5,50
28	IV.	3,48	−3,53	−101,81	5,50
29	V.	2,10	−4,91	−106,72	5,50
30	VI.	1,75	−5,26	−111,97	5,50
31	VII.	1,90	−5,11	−117,08	5,50
32	VIII.	1,71	−5,30	−122,37	5,50
33	IX.	1,98	−5,03	−127,40	5,50
34	X.	1,73	−5,28	−132,67	5,50
35	XI.	2,37	−4,64	−137,31	5,50
36	XII.	3,91	−3,10	−140,40	5,50
37	1935 I.	3,67	−3,34	−143,73	5,50
38	II.	6,54	−0,44	−144,20	5,50
39	III.	9,44	+2,43	−141,76	5,50
40	IV.	5,61	−1,40	−143,16	5,50
41	V.	6,85	−0,16	−143,31	5,50
42	VI.	3,34	−3,67	−146,98	5,50
43	VII.	1,86	−5,15	−152,18	5,50
44	VIII.	1,63	−5,38	−157,50	5,50
45	IX.	1,52	−5,49	−162,98	5,50
46	X.	1,53	−5,48	−168,46	5,50
47	XI.	1,58	−5,43	−173,88	5,50
48	XII.	2,33	−4,68	−178,56	5,50
49	1936 I.	14,15	+7,14	−171,41	5,50
50	II.	23,13	+16,12	−155,29	5,50
.
.
559	1978 VII.	10,70	+3,69	+16,97	10,70
560	VIII.	5,81	−1,20	+15,78	5,81
561	IX.	3,12	−3,89	+11,89	5,50
562	X.	3,08	−3,93	+7,97	5,50
563	XI.	2,41	−4,60	+3,37	5,50
n = 564	XII.	3,64	−3,37	0,00	5,50
1	1932 I.	4,27			5,50
2	II.	2,87			5,50
3	III.	5,42			5,50
4	IV.	12,71			5,50
5	V.	7,90			5,50
.	.	.			.
.	.	.			.
.	.	.			.
48	1935 XII.	2,33			5,50
.	.	.			.
.	.	.			.
.	.	.			.
$\sum_{i=1}^n x_i = 3953,64$			$Z_{0,i\max}/\Delta t = 58,61$ $Z_{0,i\min}/\Delta t = 178,56$		
$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^1 x_i =$ $= \frac{3953,64}{564} = 7,01 \text{ m}^3/\text{s}$			$K_1 = \Delta t \left[\frac{Z_{0,i\max}}{\Delta t} - \frac{Z_{0,i\min}}{\Delta t} \right] =$ $= 2,63 \cdot 10^6 (58,61 + 178,56) =$ $= 623 \cdot 10^6 \text{ m}^3$		

100,— Ft

INDEX: 26.499 ISSN 0027—5085

Megjelent 1982. V. 30.